Vegetative

Fortpflanzung der Sphagnaceen

nebst ihrem

Verhalten gegen Kalk.

Inaugural-Dissertation.

Der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Universität Freiburg

in der Schweiz

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

Victor Oehlmann

aus Wolfenbüttel (Herzogt. Braunschweig)

Braunschweig

Druck von Friedrich Vieweg und Sohn

1898

Vegetative

Fortpflanzung der Sphagnaceen

nebst ihrem

Verhalten gegen Kalk.

Inaugural-Dissertation.

Der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Universität Freiburg

in der Schweiz

zur

Erlangung der Doktorwürde

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

vorgelegt von

Victor Oehlmann

aus Wolfenbüttel (Herzogt. Braunschweig)

Braunschweig

Druck von Friedrich Vieweg und Sohn

1898

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545307_0046

Sphagnum wurde seines grofsen Formenreichtums wegen schon öfters untersucht, und war in systematischer Beziehung ein Gegenstand häufiger Erörterungen; wir finden in der botanischen Litteratur des letzten Jahrhunderts über das Torfmoos zahlreiche Abhandlungen. Als grundlegendes Werk kann aber wohl erst das 1858 erschienene Buch W. Ph. Schimpers „Ein Versuch einer Entwickelungsgeschichte der Torfmoose“ gelten. Neben vielen neuen Beobachtungen enthält diese Schrift eine Zusammenstellung der bis dahin zerstreuten Aufzeichnungen über Torfmoose und eine vollständige Liste der damals vorhandenen Sphagnumlitteratur. Von der grofsen Anzahl der angeführten Autoren erwähne ich besonders zwei: J. Dillenius, welcher im Jahre 1741 den Namen „Sphagnum“ zuerst anwandte (allerdings auf verschiedene Moosgattungen), und W. Hofmeister, der im Jahre 1854 bei Sphagnum acutifolium das „Erdprothallium“ entdeckte. W. Ph. Schimper seinerseits begnügte sich aber nicht damit, diese Erdprothallien von Sphagnum genau zu beschreiben und abzubilden, sondern untersuchte auch zum erstenmale eingehend die Keimung der Sporen, die Bildung von Protonema und Zellflächen und die Prolifikation der Äste. Nur wenige Forscher haben sich später mit ähnlichen Beobachtungen beschäftigt. Unter diesen nenne ich C. Warnstorf und K. Goebel.

Dank der bisher vorhandenen Arbeiten sind wir über die Morphologie, Entwickelungsgeschichte und geschlechtliche Fortpflanzung der Sphagnaceen genau unterrichtet, es fehlen aber noch völlig Untersuchungen über die „vegetative Fortpflanzung“ und über den „Einfluſs der verschiedenen Verbindungen des Kalkes“, der ja im allgemeinen Sphagnum schädlich ist. Über die letzte Frage finden sich in der Litteratur nur einige kurze Bemerkungen, so in Lequereux' „Untersuchungen über Torfmoose“, dann bei Sendtner: „Vegetationsverhältnisse Südbayerns“, bei Fliche et Grandeau: „Recherches chimiques sur la composition des feuilles“, und bei Contejean: „Géographie botanique“.

Herr Professor Klebs veranlafste mich daher, die vegetative Fortpflanzung von Sphagnum, sowie sein Verhalten gegen Kalk und dessen Verbindungen genauer zu untersuchen.

Die nachfolgende Arbeit wurde im botanischen Institut zu Basel unter der gütigen Leitung des Herrn Professor Dr. G. Klebs ausgeführt. Ich spreche ihm an dieser Stelle für seine wertvolle Unterstützung durch Rat und That meinen wärmsten Dank aus.

Als Versuchsobjekte benutzte ich folgende drei Arten:

1. Sphagnum rufescens (Bryolog. germ.) Warnstorf, welches eine Form der Varietät Sphagnum obesum Wilson ist; ferner:
2. von Sphagnum recurvum die Varietät Sphagn. mucronatum Russow, und
3. Sphagnum falcatum Russow, eine Varietät von Sphagn. cuspidatum.

Herrn Lehrer Warnstorf in Neu-Ruppin verdanke ich die Feststellung der Identität dieser Pflanzen.

Auch sei hiermit den beiden Assistenten des botanischen Instituts zu Basel, den Herren G. Senn und Dr. H. Goetz, mein Dank ausgesprochen, da ersterer mich wiederholt bei der Ausführung meiner Arbeiten unterstützte, letzterer die feinere Ausführung des gröfsten Teiles meiner Zeichnungen übernahm.

Vegetative Fortpflanzung.

Als vegetative Fortpflanzung lassen sich alle diejenigen Vorgänge zusammenfassen, durch welche neue Pflänzchen aus den verschiedenen vegetativen Organen der Moospflanze entstehen. Diese ungeschlechtliche Vermehrung ist bei den Laubmoosen eine sehr ausgiebige. Die Vermehrungsfähigkeit der Sphagnumpflanzen wird aber noch dadurch gesteigert, dafs verschiedene Produkte vegetativer Fortpflanzung zu gleicher Zeit an denselben Teilen der Pflanze auftreten können.

Anatomie der Sphagnaceen.

Bevor ich auf die Ergebnisse meiner Untersuchungen näher eintrete, gebe ich die bisher bekannten anatomischen Verhältnisse

der normalen Sphagnumpflanze in Kürze wieder, soweit sie bei meiner Arbeit in Betracht kommen.

Jedes Individuum geht ursprünglich aus einer Zelle hervor, mag diese einem primären oder einem secundären Protonema, einer Zellfläche oder einer adventiven Anlage angehören. Nachdem sie sich einige Male geteilt hat, wird eine ihrer Tochterzellen zur Scheitelzelle. Die seitlich von derselben stehenden Zellen bilden dann beim weiteren Verlaufe des Wachstums schon zu einer Zeit, in welcher die entstehende junge Pflanze nur durch eine Gruppe von mehreren Zellen angedeutet ist, wenigzellige Blattspreiten aus. Auf diese Weise ist eine vollständige Knospe ausgebildet, deren Basalzellen zu grünen, algenähnlichen Fäden, dem sogenannten Protonema, auswachsen. Letzteres wurde wiederholt von einigen Forschern als „Wurzel“ bezeichnet.

Das junge Pflänzchen besteht vorerst aus einem dünnen, weichen, vollkommen durchsichtigen Stämmchen von schwach grüner Färbung, welche von den anfangs nur in geringer Anzahl vorhandenen Chlorophyllkörnern herrührt. Ein Stammquerschnitt aus diesem Stadium zeigt durchweg isodiametrische Zellen.

Wenn aber das Pflänzchen eine Höhe von einem halben Millimeter erreicht hat, ist schon eine Differenzierung des Gewebes in drei verschiedene Zellschichten zu bemerken. Die äufsere derselben, die von Schimper als „Rindenschicht“ bezeichnet wurde, besteht aus grofsen, dünnwandigen, cylindrischen, toten Zellen, die der Wasserzufuhr dienen. Nach innen schliefsen sich einige Schichten chlorophyllhaltiger Zellen an, welche kleiner sind als die der Rinde, und durch gegenseitigen Druck prismatische Form erhalten haben. Schimper 1858 fafst diese Schichten unter der Bezeichnung „Holzcylinder“ zusammen, da später die Membranen der zu dieser Schicht gehörenden Zellen verholzen. In der Achse des Stammes verläuft ein Bündel von Zellen, welche cylindrisch, farblos und von schleimigem Inhalt angefüllt sind. Schimper nannte dieses centrale Bündel „Mark“.

Diese Sonderung der Zellschichten beginnt alsbald nach der Anlage des jungen Stammes, und die so entstehenden Schichten: Mark, Holz und Rinde sind zur Zeit der Fruchtreife vollständig ausgebildet. Hat der Stamm eine ungefähre Länge von 6 bis 7 mm erreicht, so entstehen die ersten Äste. Dieselben treten einzeln aus dem Stamme heraus, und zwar nicht in den Blattachseln, sondern seitlich der Blattinsertion. Sie stehen, das für Sphagnum so charak-

teristische Köpfchen bildend, dicht gedrängt beisammen und umgeben die Terminalknospe des Stammes, welche durch ihre besonders dicht übereinander liegenden Blätter die übrigen Äste des Köpfchens an Dicke übertrifft. Dann rücken sie allmählich infolge des Längenwachstums des Stammes auseinander. Nach einer fünf- bis sechsmonatlichen Entwickelung trägt die Terminalknospe die weiblichen Blüten: die Pflanze hat ihre normale Gestalt und Struktur erreicht.

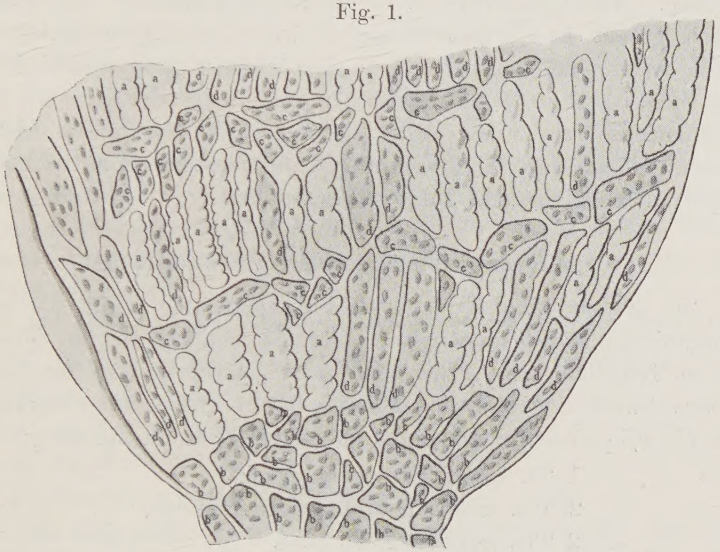
Die ersten Äste der jungen Pflanze entstehen, wenn diese eine Länge von 4 bis 6 mm erreicht hat. Sie treten stets einzeln ungeteilt aus dem Stamme heraus. Alle später erscheinenden sind schon in sehr frühem Stadium geteilt und bilden je nach der Species aus drei bis sieben Ästen bestehende Büschel. Als Kurztriebe ursprünglich dem Köpfchen angehörend wachsen sie im Laufe ihrer weiteren Entwickelung peitschenförmig aus. Sie zeigen anfangs keulenförmige Gestalt und stehen zuerst dicht beisammen. Doch rücken sie gleich den einfachen Ästen durch die Verlängerung des Stammes auseinander und verlieren dabei ihre keulenförmige Gestalt. Die einen stehen dann fast wagerecht vom Stamme ab und tragen die männlichen Blüten (männliche Äste), die anderen sind lang und dünn und dienen, am Stamme schlaff herabhängend, der Feuchtigkeitszufuhr. Die eigenartige Gestalt dieser Langtriebe verleihen im Verein mit dem charakteristischen Köpfchen der Sphagnumpflanze ihr besonderes Aussehen.

Die Anatomie dieser Äste ist mit wenigen Ausnahmen dieselbe wie die des Stammes. Die Differenzierung in Mark-, Holz- und Rindenschicht tritt auch hier ein, und zwar in einem sehr frühen Stadium. Die Rindenschicht nimmt je nach der Art eine bis vier Lagen von Zellen ein, die zum Teil bedeutend gröfser sind als die der Mark- und Holzschicht. Die Zellen des Holzcylinders ausgewachsener Äste sind von der Basis letzterer bis zur Spitze hinauf verholzt, während unterhalb des Vegetationspunktes dieser Vorgang nicht eintritt. Die Differenzierung der verschiedenen Schichten des Stengels vollzieht sich an dieser Stelle nie vollständig. Die Gewebepartieen unterhalb des Vegetationspunktes verharren so in einem jugendlichen Zustande, und es zeichnet ein reicher Chlorophyllgehalt die dort befindlichen Zellen aus.

Die Blätter gehen aus der äufseren Zellschicht des Vegetationskegels, und zwar aus einem Zellkranze hervor, der sich drei bis vier Zellen unterhalb der Scheitelzelle befindet. Durch wiederholte Teilun-

gen der Blattscheitelzellen entsteht zuerst ein aus rechtwinkeligen Zellen zusammengesetztes Blättchen. Durch weitere Teilung der in diesem Stadium noch durchweg chlorophyllhaltigen Zellen entwickeln sich nun zwei constante Zellformen: Die wasserhellen, grossen toten Zellen, welche zur Wasseraufspeicherung befähigt sind, und zwischen ihnen die schmalen, grünen, lebendigen, assimilierenden Zellen. An der Basis des Blattes befinden sich je nach der Species eine oder mehrere Reihen relativ kleiner, chlorophyll-

Fig. 1.



Unterer Teil eines „Rudimentärblattes“ von Sphagnum rufescens. *a* inhaltsleere Zellen. *c*, *b* und *d* = chlorophyllhaltige Zellen. Die Reihen der quergelagerten Zellen *c* wiederholen sich in einem Blatte ca. sechs- bis zehnmal in entsprechenden Zwischenräumen. Vergr. 260.

haltiger, parenchymatischer Zellen, bei denen eine Differenzierung in Wasser aufspeichernde und assimilierende Zellen nicht durchgeführt worden ist. Sie ziehen sich nicht wie die übrigen Blattzellen in die Länge, sondern wölben sich nach aufsen hin vor.

Neben diesen normalen Blättern beobachtete ich in einigen Kulturen von Sphagnum rufescens „Rudimentärblätter“, die an der ganzen Länge der jungen Stengel (bis zu 6 cm) vorhanden waren. Dieselben sind aber nicht mit den „Primärblättern“ Goebels identisch, sondern sie sind bei ihrer Entwickelung stellenweise halbwegs stehen geblieben.

Während die Anordnung der rhombischen, hyalinen und der schlauchförmigen, chlorophyllhaltigen Zellen in dem normal entwickelten Blatte eine regelmäfsige ist, so besitzen sowohl die Hyalinen als auch die Chlorophyllzellen in den Rudimentärblättern kurze, schlauchförmige Gestalt (Fig. 1 und 12). Sie wechseln unregelmäfsig miteinander ab, sind fächerförmig eher nach oben divergierend, als parallel angeordnet und von in regelmäfsigen Abständen wiederkehrenden quer laufenden, grünen Zellreihen unterbrochen. Auf diese Weise wird ein solches Blatt in 8 bis 12 Zellreihen geteilt und erhält hierdurch wie durch seine kreisrunde Form ein von den normalen Sphagnumblättern ganz verschiedenes Aussehen. Diese Rudimentärblätter erhielt ich in Kulturen mit destilliertem Wasser und etwas Torfdecoct bei schwachem Lichte. Leider mufsten diese Kulturen wegen der massenhaft auftretenden Algen nach einiger Zeit aufgegeben werden.

Allgemeines über die Versuche.

Zur Kultur wandte ich sowohl ausgekochten Torf, als auch anorganische Nährlösungen an. Der Einfachheit wegen spreche ich im folgenden von „schwachen“ und „stärkeren Nährlösungen“. Unter schwachen verstehe ich 0,05- bis 0,2procentige, unter stärkeren 0,3- bis 0,5procentige Lösungen folgender Zusammensetzung:

1 Tl. schwefelsaure Magnesia,
2 Tle. saures phosphorsaures Natron,
2 Tle. salpetersaures Kali.

Ferner gebrauche ich im weiteren häufig die Ausdrücke: „helles, schwaches und sehr schwaches Licht“, zu deren Erklärung folgendes diene.

Kulturen im „hellen Lichte“ befanden sich in einem nach Süden gelegenen Fenster, jedoch so, dafs sie den direkten Sonnenstrahlen durch Abblendung entzogen wurden.

Kulturen im „schwachen Lichte“ standen 3 m vom Fenster eines sonst hell erleuchteten Zimmers.

Kulturen, welche in der entferntesten Ecke eines sonst hell erleuchteten Zimmers (etwa 8 m vom Fenster) aufgestellt wurden, waren der Einwirkung eines „sehr schwachen Lichtes“ ausgesetzt.

In dem Zimmer, in welchem ich die Versuche anstellte, schwankten die Temperaturen zwischen 15 und 20° C.

Sekundäres Protonema.

Die bei der Keimung der Moosspore entstehenden algenartigen Zellfäden hat man als „Sporenvorkeim“ oder „Protonema“ bezeichnet. Diesem gegenüber nannte man die an den vegetativen Organen der Moospflanze erscheinenden, dem primären Protonema ähnlichen Fäden „sekundäres Protonema.“ Letzteres ist bei den übrigen Moosen schon lange bekannt. Goebel sagt z. B. (Schenks Handbuch der Botanik 82), dafs fast eine jede Zelle der Laubmoospflanze imstande sei, durch Bildung von Protonema einem neuen Pflänzchen den Ursprung zu geben. Diese Fähigkeit macht sich auch bei Sphagnum geltend, jedoch nur an ganz bestimmten Stellen der Pflanze. Dieses wurde bisher übersehen. Auch Goebel sagt in seiner Abhandlung über „Jugendformen von Pflanzen und deren künstliche Wiederhervorrufung“ (S. 468) nur: „Bei Sphagnum sah ich bis jetzt Protonemabildung (in der für diese Gattung charakteristischen Gestalt) nur an abgeschnittenen Sprofsachsen, nicht an Blättern.“

Bei meinen Versuchen erhielt ich aber sekundäres Protonema:

1. an den Ästen des Köpfchens oder den Kurztrieben,
2. an den Langtrieben,
3. an den Hauptachsen,
4. an den Blättern und
5. an den sekundären Zellflächen.

Da sich meine Untersuchungen ausschliefslich auf sekundäres Protonema und sekundäre Zellflächen beziehen, nenne ich sie im Verlaufe meiner Arbeit kurzweg „Protonema“ und „Zellflächen“.

Protonema der Äste überhaupt.

In meinen Kulturen machte sich bald ein deutlicher Unterschied geltend zwischen der Protonemabildung der die charakteristischen Köpfchen bildenden Kurztriebe (Fig. 2, *a*, *b*, *c*) und derjenigen der älteren Äste, der Langtriebe (Fig. 2, *d*, *e*). Während bei letzteren die Rindenzellen mit Ausnahme einiger sich in der Nähe des Vegetationspunktes befindlicher Zellen tot sind und nur zur Wasseraufnahme dienen, bleibt an den jungen Ästen, den Kurztrieben, ein Gewebe undifferenziert, das sich über mehrere Internodien erstreckt. Dieses ist unter allen Partieen der jungen Teile allein befähigt, Protonema zu bilden. Wegen dieser Fähigkeit

bezeichne ich dasselbe kurz als „Bildungsgewebe“. Während es durch äufsere mechanische Einflüsse zur Bildung von Protonema veranlafst werden kann, ermöglicht es unter normalen Verhältnissen den Ästen ein interkalares Wachstum, wodurch die Äste erst

Fig. 2.

Sphagnum mucronatum. a = Terminalknospe. b = Äste der Mittelzone. c = Äste der Peripherie. d = männliche Äste. e = peitschenförmige, der Wasseraufnahme dienende Äste. a, b, c = Kurztriebe, d, e = Langtriebe. Vergr. $6^1/_2$.

ihre endgültige Länge erreichen. Sie verlängern sich dabei ungefähr um das Zwei- bis Vierfache und beschliefsen dann mit dem Ende des ersten Jahres ihr Wachstum. Dabei sind an die Stelle des Bildungsgewebes die drei Zellschichten: „Rinde, Holz und Mark“ getreten, welche nicht mehr imstande sind, Protonema zu bilden. Dagegen sind an diesen ausgewachsenen Ästen gewisse andere Teile noch der vegetativen Vermehrung fähig. Ich werde wegen dieses durchgreifenden Unterschiedes die Protonemabildung der Kurztriebe und der Langtriebe gesondert betrachten.

1. Protonema der Kurztriebe.

Bei meinen ersten Kulturversuchen brauchten die an ihrer Basis abgetrennten Äste des Köpfchens stets verschiedene Zeitdauer, um Protonema zu bilden. Mochte ich schwache oder stärkere Nährlösungen, oder Kulturen auf Torf anwenden und diese Kulturen einem Lichte von gröfserer oder geringerer Intensität aussetzen, immer war die Zeitdauer bis zum Entstehen des Protonemas an den Ästen des Köpfchens ganz verschieden. Anfangs glaubte ich, dafs die Äste verschiedener Köpfchen in einer Kultur sich so voneinander unterscheiden würden, aber weitere Versuche führten mich zu der Erkenntnis, dafs sich die Äste verschiedener Zonen ein und desselben Köpfchens unter denselben Bedingungen bei der Protonemabildung verschieden verhielten. Aber innerhalb dieser Zonen wurde stets das Protonema unter den gleichen Bedingungen in gleicher Weise ausgebildet. Es lassen sich so drei Zonen unterscheiden, welche allerdings nicht scharf voneinander getrennt sind, sondern allmähliche Übergänge von der einen zur anderen zeigen.

Ich bezeichne diese drei Regionen kurz als „Centrum, Mittelzone und Peripherie“ des Köpfchens (Fig. 2).

Zum Centrum rechne ich nur die Terminalknospe und die wenigen, dieselbe direkt umgebenden Äste. Zur Peripherie gehören nur einige Äste (Fig. 2 *c*), welche durch gröfsere Länge und ausgesprochen keulenförmige Gestalt charakterisiert sind. Der Mittelzone gehören dann die zwischen Centrum und Peripherie stehenden Äste an, die auch keulenförmig, aber kürzer als die der Peripherie sind.

Das verschiedene Verhalten dieser drei Zonen bei der Protonemabildung habe ich durch viele Versuche festgestellt. Zwei davon

sind in Tabelle I und II ausführlich wiedergegeben. Sie führen wie die übrigen Versuche zu dem Schlusse:

1. dafs die an ihrer Basis abgetrennten, aber an ihrer Spitze unverletzten Äste des Centrums nicht imstande sind, Protonema zu bilden;
2. dafs die an ihrer Basis abgetrennten Äste der Mittelzone zum Teil Protonema zu bilden vermögen, zum Teil nicht;
3. dafs die an ihrer Basis abgetrennten Äste der Peripherie kein oder nur selten Protonema bilden können.

Tabelle I.

Beginn der Kulturen am 18./II. 97.	Sämtliche Äste (37) eines Köpfchens von Sphagnum mucronatum möglichst genau an ihrer Basis abgetrennt.					
	20 Äste der Mittelzone		8 Äste der Peripherie		9 Äste des Centrums	
Aufeinander folgende Beobachtungstage	Anzahl der Äste mit Protonema	Länge der Äste mit Protonema mm	Anzahl der Äste mit Protonema	Länge der Äste mit Protonema mm	Anzahl der Äste mit Protonema	Länge der Äste mit Protonema mm
22./II.	2	1,8 2,0	—	—	—	—
23./II.	3	1,8 1,5 2,5	—	—	—	—
24./II.	2	2,1 2,75	—	—	—	—
26./II.	2	2,5 2,2	—	—	—	—
27./II.	2	2,0 3,1	—	—	—	—
3./III.	1	2,0	—	—	—	—
5./III.	1	2,5	—	—	—	—
11./III.	—	—	1	4,2	—	—
17./III.	—	—	—	—	—	—
24./III.	—	—	1	5,75	—	—
Summe der Äste mit Protonema	13	—	2	—	—	—

Doch mit der Einteilung der Köpfchen in sòlche Zonen ist zunächst nicht viel gewonnen. Um den Grund für das verschiedene Verhalten dieser Zonen herauszufinden, stellte ich mit Ästen der gleichen Zonen wiederholte Versuche an. Dabei bildeten aber auch von diesen nicht alle Protonema, sondern verhielten sich

wieder verschieden. Jetzt fiel mir aber auf, dafs die Äste, welche zu gleicher Zeit Protonema bildeten, auch stets eine fast gleiche Länge besafsen, und zwar betrug dieselbe bei Sphagnum mucronatum 2,0 bis 2,5 mm, die bei Sphagn. rufescens 3,25 bis 4,0 mm und die bei Sphagn. falcatum 2,75 bis 3,25 mm.

Um nun zu ermitteln, wieso denn nur Äste von derselben Länge Protonema zu bilden vermögen, trennte ich Äste bei allen drei untersuchten Arten in verschiedenen Abständen von ihrer Ursprungsstelle an der Hauptachse ab. Dabei ergab sich, dafs die

Tabelle II.

Beginn der Kulturen am 8./II. 97.	Die Äste (19) eines halben Köpfchens von Sphagnum mucronatum möglichst an ihrer Basis abgetrennt					
	10 Äste der Mittelzone		5 Äste der Peripherie		4 Äste des Centrums	
Aufeinander folgende Beobachtungstage	Anzahl der Äste mit Protonema	Länge der Äste mit Protonema mm	Anzahl der Äste mit Protonema	Länge der Äste mit Protonema mm	Anzahl der Äste mit Protonema	Länge der Äste mit Protonema mm
12./II.	1	2,25	—	—	—	—
13./II.	2	2,2 2,75	—	—	—	—
15/II.	2	2,4 2,1	—	—	—	—
16./II.	1	3,25	—	—	—	—
19./II.	—	—	—	—	—	—
22./II.	—	—	—	—	—	—
27./II.	—	—	1	5,0	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	6	—	1	—	—	—

innersten Äste der Mittelzone Protonema bilden, wenn sie an ihrem Basalende etwas unterhalb der Mitte ihrer Länge abgetrennt wurden, die äufseren Äste dieser Zone, wenn sie in ihrer Mitte selbst, und die der Peripherie, wenn sie etwa im obersten Drittel ihrer Länge abgetrennt worden waren. Eingehende Beobachtungen

liefsen mich erkennen, dafs diese Verschiedenheit unter den Ästen der drei Zonen von der Lage des oben erwähnten Bildungsgewebes herrührt. Dasselbe befindet sich im Centrum des Köpfchens an der Basis der Äste. Bei ihrem Wachstum rückt es langsam gegen die Spitze, so dafs es in der Mittelzone in der Mitte der Äste oder noch etwas unterhalb derselben zu liegen kommt. Bei der äufsersten Zone hat es sich schliefslich der Spitze der Äste noch mehr genähert. Es kommt nun aber bei allen Versuchen darauf an, ob dieses Bildungsgewebe bei der Lostrennung der Äste verletzt wird, oder sich in der Nähe von anderen verletzten Zellen befindet. Schnitt ich Äste der Peripherie sorgfältig an ihrer Basis ab, so war ich sicher, dafs kein Protonema gebildet wurde; rifs ich aber solche Äste einfach mit der Pincette ohne weitere Vorsicht vom Hauptstamme fort, dann trat meistens Protonema auf. Hierbei war aber das gegen die Astspitze hin gelegene Bildungsgewebe noch verletzt worden und bildete dann neben der Wundstelle Protonema. Dabei braucht aber das Bildungsgewebe nicht selbst verletzt zu sein; es bildet sich auch Protonema, wenn die ihm benachbarten gewöhnlichen Zellen verletzt werden und absterben. Wenn letztere aber sehr zahlreich sind, so verzögern sie das Erscheinen des Protonema, oder zwingen es, seitlich aus dem Stengel herauszuwachsen. Ist die Verletzung der dem Bildungsgewebe vorgelagerten Zellschichten nur so gering, dafs diese hierdurch nicht zu Grunde gehen, so bildet sich überhaupt kein Protonema, und die betreffenden Äste wachsen dann einfach in die Länge.

Während es mir so gelungen war, an den Ästen der Peripherie und der Mittelzone durch Abtrennung derselben Protonemabildung hervorzurufen, trat diese bei den Ästen des Centrums niemals auf, obwohl ich das hier an der Basis gelegene Bildungsgewebe geflissentlich verletzte. Erst wenn ich auch den Vegetationskegel verletzte, trat in der Kultur an den basalen Wundstellen Protonema auf.

Diese Verhältnisse liefsen die Vermutung zu, dafs in den Ästen, die dicht den Vegetationspunkt der Hauptachse umgeben, die Neigung zum Längenwachstum noch so stark ist, dafs trotz einer Verletzung des Bildungsgewebes kein Protonema auftritt, sondern alle Baustoffe wie bisher dem Vegetationspunkte zugeführt werden. Erst wenn diesem Längenwachstum durch Verletzung des Vegetationspunktes Einhalt gethan wird, sucht sich die Pflanze durch Anlage von Protonema an der basalen Wundstelle weiter

zu erhalten. Nach dem äufseren Rande des Köpfchens hin nimmt bei abgetrennten Ästen die Neigung zum Längenwachstum ab, die Neigung zur Protonemabildung zu. In Übereinstimmung damit ist häufig an den Ästen der Mittelzone neben der Protonemabildung auch ein Spitzenwachstum zu beobachten. Bei weiteren Versuchen stellte sich heraus, dafs es nicht nur notwendig ist, das Bildungsgewebe überhaupt zu verletzen, sondern dafs es auch wichtig ist, an welcher Stelle es verletzt werde. So kultivierte ich eine Anzahl Äste derselben Zone.

Bei den einen war das Bildungsgewebe gerade in der Mitte durchgeschnitten. Am oberen und am unteren Astteile sprofsten gleich zahlreiche Protonemafäden hervor.

Bei der zweiten Kategorie war die Abtrennung so erfolgt, dafs an den unteren Teilen sich fast alles Bildungsgewebe befand, am oberen nur noch wenige seiner Zellen. Hier entwickelte sich nur spärlich Protonema, während solches am oberen Ende des unteren Astteiles hervorsprofste.

Bei der dritten Klasse von Ästen fehlte den unteren Teilen das Protonema fast vollständig, da diese bei der Zerteilung nur wenige Zellen des Bildungsgewebes erhalten hatten; der obere Astteil, mit der Mehrzahl der Bildungsgewebezellen versehen, entwickelte an seiner Wundstelle viele Protonemafäden.

Bei einer letzten Kategorie von Ästen war die Abtrennung in ihren unteren Vierteln vollzogen worden, ihre Bildungsgewebe hatten deshalb keine Verletzung erlitten, es bildete sich kein Protonema aus. Um aber solches doch noch daran zu erzeugen, halbierte ich durch Querschnitt die oberen Teile dieser Äste. Hierbei wurde das Bildungsgewebe verletzt und entwickelte sofort Protonema.

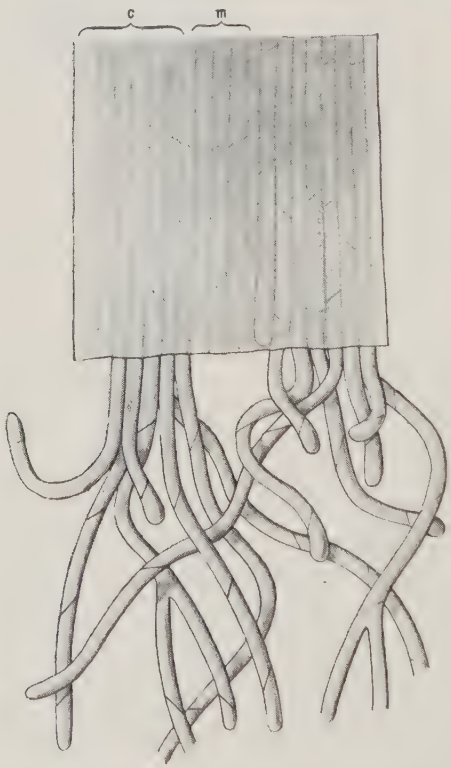
Fig. 3.

Teil eines Kurztriebes von Sphagnum mucronatum. *a* = ein durch Abschaben verletztes Bildungsgewebe. *b* = ein noch an dem Bildungsgewebe verbliebenes Aststück. *c* = Zellflächenanlagen. Vergr. 43.

Wird Bildungsgewebe an verschiedenen Stellen zugleich verletzt, so treten auch an jeder Wundstelle Protonemafäden auf. Ein Versuch dieser Art ist durch Fig. 3 veranschaulicht. Ich ent-

fernte an einigen Ästen vorsichtig alle Blätter und beschädigte dann durch Abschaben mit einem scharfen Skalpell das Bildungsgewebe eines Astes auf allen Seiten. Hierauf wurde das Bildungsgewebe, so gut es ging, allein aus dem Aste herausgeschnitten (bei Fig. 3 kam noch ein Stück des oberen Astteiles ohne Bildungsgewebe mit) und auf feuchtem Torfe mit Nährlösung im schwachen Lichte kultiviert. Nach etwa acht Tagen begannen fast alle Zellen des Bildungsgewebes zu Protonema oder Zellflächen auszuwachsen, so dafs ein völlig aus Protonema und Zellflächen zusammengesetztes Gebilde entstand. Letzteres sieht den Protonemawucherungen an verletzten und unter günstigen Bedingungen kultivierten Ästen von Leucobryum sehr ähnlich.

Fig. 4.



Astlängsschnitt mit Protonema von Sphagn. falcatum. *m* = Mark. *c* = chlorophyllhaltige Zellen. Vergr. 125.

Aus den angeführten Versuchen geht hervor, dafs, je mehr Zellen des Bildungsgewebes sich an einem Astfragment dicht an der Abtrennungsstelle befinden, desto reichlicher Protonema auftritt.

Über die zur Protonemabildung nötige Zeitdauer.

Die Kurztriebe, deren Bildungsgewebe bei der Abtrennung verletzt worden ist, bilden zu gleicher Zeit Protonema, gleichviel, ob sie der Mittelzone oder der Peripherie angehören. Tabelle III und IV zeigen zwei Kulturen, in denen unter den eben angeführten Bedingungen auch nicht ein Ast ohne Protonema blieb. Die zur Bildung von Protonema im Minimum

Tabelle III.

Alle Äste (18) eines Köpfchens von Sphagn. mucronatum (aufser denen des Centrums) möglichst genau an ihrem Bildungsgewebe abgetrennt

Beginn der Kulturen am 3./V. 97. Aufeinander folgende Beobachtungstage	Anzahl der Äste mit Protonema	Länge der Äste mit Protonema mm
7./V.	3	2,3 2,5 1,8
8./V.	3	2,3 2,0 2,75
10./V.	4	2,1 2,6 3,0 2,0
11./V.	3	3,5 2,3 4,0
12./V.	1	4,2
13./V.	2	2,0 2,2
14./V.	2	2,75 3,0
Summe der Äste mit Protonema	18	

Tabelle IV.

Alle Äste (11) eines Köpfchens von Sphagn. rufescens (aufser denen des Centrums) möglichst genau an ihrem Bildungsgewebe abgetrennt

Beginn der Kulturen am 8./II. 97. Aufeinander folgende Beobachtungstage	Anzahl der Äste mit Protonema	Länge der Äste mit Protonema mm
16./II.	1	3,1
18./II.	2	3,0 4,5
20/II.	1	5,1
23./II.	2	4,75 5,2
26./II.	1	4,1
1./III.	3	2,5 4,0 3,6
11./III.	1	3,8
Summe der Äste mit Protonema	11	

nötige Zeit ist bei den drei untersuchten Species verschieden. Bei Sphagnum mucronatum beträgt sie drei Tage, bei Sphagn. rufescens vier und bei Sphagn. falcatum fünf Tage. Aus Tabelle III und IV geht nun aber hervor, dafs in den wenigsten Fällen das Protonema an allen Ästen der Kultur schon nach so kurzer Zeit auftritt, obwohl alle an ihrem Bildungsgewebe verletzt worden waren. Man mufs jedoch bedenken, dafs bei der Abtrennung dieser zarten Objekte vermittelst Pincette oder Skalpell nicht nur eine einzige Zellreihe verwundet wird, sondern auch die in der Nähe liegenden Zellen in Mitleidenschaft gezogen werden; sie werden zerquetscht oder zerrissen und sterben infolge davon bald ab.

An solchen Stellen tritt das Protonema gewöhnlich erst sehr spät auf, und zwar um so später, je gröfser das dem noch lebenden Bildungsgewebe vorgelagerte abgestorbene Gewebe ist (in einem in Tabelle IV angeführten Versuche erst nach 18 Tagen). Unter diesen Umständen wäre es wohl richtiger, zu sagen, das

Protonema „erscheine“ erst später, denn gebildet wird es ebenso früh, wie an den frei liegenden Stellen des Bildungsgewebes. Häufig kann man bei günstigen Objekten genau verfolgen, wie sich die chlorophyllhaltigen Fäden des in Bildung begriffenen Protonemas zwischen den abgestorbenen bleichen Zellen hindurchdrängen (Fig. 4). Auch gelang es mir, das bei verschiedenen Kulturen schon seit einiger Zeit abgestorbene und der Bildungszone vorgelagerte Gewebe abzuziehen. Ich konnte dann feststellen, dafs das Bildungsgewebe schon einige Mikron lange Protonemafäden gebildet hatte. Begreiflicherweise wird durch die vorgelagerten toten Zellpartieen das Wachstum etwas gehemmt und das Erscheinen an der Oberfläche oft um mehrere Tage verzögert.

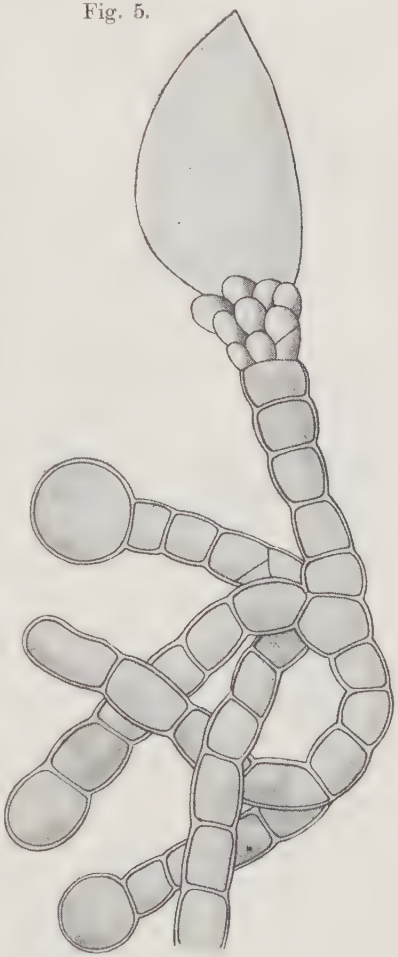
Einfluſs des Lichtes.

Für die Entwickelung des Protonemas der Kurztriebe ist die Stärke des Lichtes von grofser Bedeutung. Das Bildungsgewebe erzeugt zwar sowohl im hellen wie im schwachen Lichte Protonema, doch ist ein Licht von mittlerer Intensität (ca. 1 m vom Fenster entfernt) für seine Anlage und sein weiteres Wachstum am günstigsten. Ein sehr schwaches Licht erlaubt keine Neubildung von Protonema mehr; ist letzteres schon vorhanden, so stellt dieses sein Wachstum ein, oder lenkt es in andere Bahnen; oft gehen die Äste samt Protonema zu Grunde. Tabelle V veranschaulicht eine Reihe von Versuchen über die Wirkung der verschiedenen Lichtintensitäten. Aus denselben geht hervor, dafs, sobald das Protonema sein Wachstum eingestellt hat, an ihm Adventivknospen auftreten oder die Äste proliferieren; ferner, dafs das Wachstum der Äste mit dem Wachstum ihres Protonemas im gewissen Zusammenhange steht. Das Protonema vergröfsert sich so lange durch Längenwachstum, wie der Ast dazu imstande ist. In der auf Tabelle V verzeichneten zweiten Fensterkultur hatte ich die Vegetationspunkte an mehreren Ästen zerdrückt. Infolgedessen hörte das Wachstum dieser Äste, sowie das des Protonemas auf, und es bildeten sich an verschiedenen Stellen der Astrudimente Adventivknospen aus, um so auf dem kürzesten Wege zur Erzeugung eines neuen Individuums zu gelangen.

Während, wie schon erwähnt wurde, vorhandenes Protonema in einem Lichte geringer Intensität meist zu Grunde geht, treten zuweilen merkwürdige Ausnahmen auf. Ich brachte Sphagnum-

teile, die bei günstiger Beleuchtung und auf 0,3 procentigem [1]) Torfe Protonema gebildet hatten, ohne Veränderung der Ernährungsbedingung in ein Licht geringer Intensität. Der gröfste Teil des gebildeten Protonemas ging zu Grunde. Nur wenige Fäden nahmen das einige Zeit unterbrochene Wachstum wieder auf, und ihre Zellen rundeten sich etwas ab; relativ langsam bildete sich so eine Zelle nach der anderen um und nahm eine tonnenförmige Gestalt an, die von den Zellformen eines normalen Protonemafadens von Sphagnum deutlich verschieden ist (Fig. 5).

Fig. 5.



Protonema von Sphagn. mucronatum, nachdem es 3 Monate hindurch einem sehr schwachen Lichte ausgesetzt war. Sämtliche Zellen besitzen wenig Chlorophyll. Vergr. 260.

In geringer Anzahl wurden solche schwach grüne Zellen auch neu gebildet. Sie besitzen fast kein Chlorophyll und hängen nur lose untereinander zusammen. Die Endzellen solcher Fäden werden oft gröfser als die anderen und kugelig, andere tragen, allerdings nur selten, bleichgrüne Knospen.

Durch die Kultur der schon ausgebildeten Astprotonemen in einem sehr schwachen Lichte habe ich somit das Gebilde erhalten, welches Schimper 1858 (Tafel I, Fig. 18) abbildet. Über die Entstehungsursache dieses Gebildes macht er keine Angaben, sondern führt es nur als Beispiel dafür an, dafs sich primäres Protonema lange Zeit lebend erhalten kann, ohne Knospen zu bilden. K. Goebel

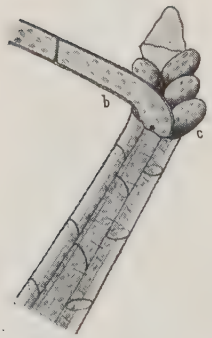
[1]) Ein mit 0,3 procentiger Nährlösung getränkter Torf.

bezweifelt bezüglich des primären Protonemas die Existenz eines solchen Gebildes, wie es von Schimper beobachtet worden ist. Wenn auch nur selten, so kann dieses jedenfalls am sekundären Protonema auftreten und benötigt zu seiner Bildung $1^1/_2$ bis 2 Monate. Wir haben es hier also mit einer Modifikation des Protonemas zu thun. Schimper hat diese Bildung am sekundären Protonema wohl irrtümlich dem primären zugeschrieben.

2. Protonema der Langtriebe.

Bekanntlich schliefsen die Äste ihr Wachstum nach einem Jahre ab. Dabei bleiben aber einzelne Zellen oder ganze Partieen der Rindenschicht unterhalb des Vegetationskegels lebendig. Bei guter Beleuchtung und Ernährung solcher abgetrennten Langtriebe (am besten auf Torf mit 0,2 procentiger Nährlösung) zeigt sich bald in ihren Zellen eine grofse Menge von Chlorophyll. Kurze Zeit nachher wachsen sie zu Protonema und Zellflächen aus (Fig. 29). Da letztere viel zahlreicher sind als Protonema, will ich auf diese Erscheinung bei der Besprechung der Zellflächen näher eingehen. In gleicher Weise treten neben Protonema auch Knospen und Zellflächen auf, wenn der Vegetationspunkt verletzt wird. Wenn dabei nur die Scheitelzelle zu Grunde geht und die übrigen Zellen des Vegetationskegels lebendig bleiben, so wachsen diese zu Protonema und Zellflächen aus; eine Zelle des Vegetationskegels bildet eine Knospe, aus der dann ein neues Pflänzchen hervorgeht (Fig. 6). Dasselbe wird an seiner Basis von Protonema und Zellflächen rosettenartig umgeben (Fig. 7 und 40).

Fig. 6.



Oberer Teil eines entblätterten Langtriebes von Sphagn. mucronatum, dessen verletzte Scheitelzelle abgestorben ist. *b* und *c* = zu Proton. auswachsende Zellen. Vergr. 260.

Diese Bildung, welche Schimper als Prolifikation bezeichnete, beruht jedenfalls auf dem Wundreiz, wobei aber auch gute Ernährung nötig ist (Torf mit 0,2 procentiger Nährlösung). An der Übergangstelle eines Langtriebes in das durch Prolifikation desselben entstandene neue Pflänzchen bildet sich unter normalen Bedingungen stets Protonema.

Endlich tritt an den Langtrieben immer Protonema auf, wenn Adventivknospen gebildet werden. Aus letzteren gehen stets nur junge Pflänzchen und nie Äste hervor. Das an ihrer Basis auftretende Protonema verhält sich bei den drei von mir untersuchten Arten gleich.

Schliefslich ist noch ein Zurückbleiben des Protonemas im unentwickelten Zustande an den Knospen der Langtriebe zu erwähnen. In solchem Falle bleibt es denn oft so unscheinbar, dafs es dem Blicke des Beobachters leicht entgeht. Ist z. B. ein Ast zur Zeit seiner Abtrennung recht kräftig und wird er in guter Nährlösung dem hellen Lichte ausgesetzt, so bleiben die Protonema-Anlagen der sich bildenden Knospen klein, und zwar oft in so ausgesprochener Weise, dafs man nur eine wulstige Zellanhäufung am Fufse der jungen Pflanze bemerkt. Durch schwaches Licht wird dann die weitere Entwickelung eines solchen Protonemas befördert.

Fig. 7.

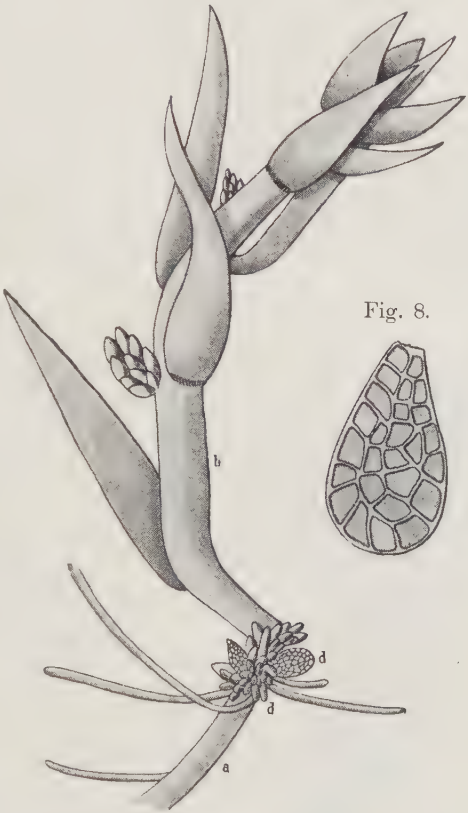


Fig. 8.

Fig. 7. Ein proliferierender Langtrieb von Sphagnum mucronatum. a = alter Langtrieb, b = junge Pflanze, d = Zellflächen und Protonema. Vergr. 43. — Fig. 8. Zellfläche d der Fig. 7 bei einer 260fachen Vergröfserung.

Protonema der Hauptachsen.

In der freien Natur ist das Protonema wohl häufiger an der jungen Pflanze, als, abgesehen von den Luftwurzeln, an den Kurztrieben als secundäres Protonema zu finden, da ja doch nur durch Zu-

fall die Äste von der Pflanze abgetrennt werden. Von abgetrennten Ästen kann ein jeder, sei er älter oder jünger, Adventivknospen hervorbringen, die an ihrer Basis Protonema tragen. Aus diesen Knospen entwickeln sich dann junge Pflanzen. Sobald aber die letzteren die ersten gebüschelten Äste getrieben haben, stirbt das Protonema (von Schimper als „Wurzeln“ bezeichnet) samt dem unteren Astteile ab. Bei der fertig entwickelten Pflanze ist daher von den sogenannten Wurzeln nichts mehr zu sehen. Deshalb waren dieselben überhaupt lange nicht bekannt. Erst Schimper (1858) machte darauf aufmerksam (S. 13, 14): „Die Wurzeln sind bei den jungen Sphagnumpflanzen ebensogut, wie bei den übrigen Moosen, nicht nur Ernährungs-, sondern auch Befestigungsorgane, selbst bei den im Wasser entstehenden Pflänzchen, und zwar bei diesen auf

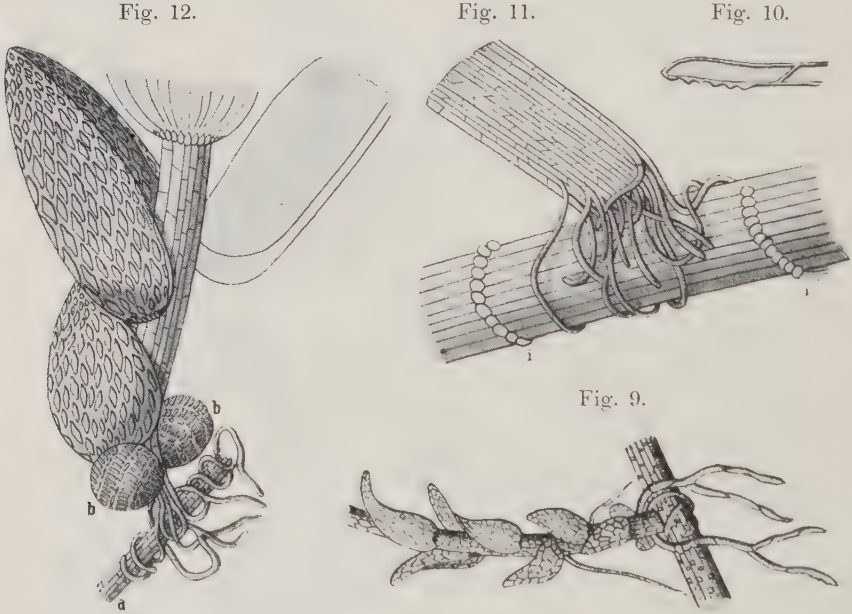


Fig. 9. Sphagnum subsecundum. Junge, 4 Monate alte Pflanze mittels Haftwürzelchen einem Stengelfragmente derselben Art aufsitzend. Nach Schimper. Nat. Vergr. — Fig. 10. Sphagn. subsecund. Die Spitze eines Haftwürzelchens. Nach Schimper. Vergr. 800. — Fig. 11. Teil eines Langtriebes von Sphagn. rufescens mit dem unteren Stück einer adventiv entstandenen Pflanze. *i* = Insertionsstellen der entfernten Blätter. Vergr. 43. — Fig. 12. Ein adventiv entstandenes Pflänzchen von Sphagn. rufescens, dessen Protonema teilweise infolge schlechter Nährlösung verkümmert ist. *a* = Teil des Mutterastes. *b* = Rudimentärblätter. Vergr. 43.

folgende Weise: Sobald die schwimmenden jungen Pflanzen mit einem festen Körper zusammentreffen, setzen sie sich an demselben fest, die Wurzeln heften sich mittels kleiner, aus der anliegenden Zellwand hervortretender Vorsprünge (Saugwärzchen, Fig. 9 und 10) an das gefundene Substrat an oder umwinden auch selbst dasselbe, wenn es nicht zu dick ist. Auf diese Weise findet man nicht selten Saatpflänzchen auf älteren Sphagnumpflanzen befestigt oder auf Stengelstückchen derselben frei herumschwimmen."

Schimper legt also den „Wurzeln" der jungen Pflanzen eine grofse Bedeutung als Haft- und Klammerorgane bei. Wie schon von anderen Autoren hervorgehoben wurde, und wie auch ich feststellen konnte, sind diese „Wurzeln" nichts anderes als Protonemafäden. Dafs dieselben je den Versuch machen — ob sie nun an Ästen oder Hauptachsen stehen —, sich an schwimmenden oder festen Gegenständen festzuklammern, konnte ich bei meinen Untersuchungen nie beobachten. Ich hatte oft Kulturen, in denen eine grofse Zahl von Protonema tragenden Ästen so dicht gedrängt lagen, dafs ein gegenseitiges Berühren bedingt war. Das Protonema wuchs aber immer gerade aus, ohne die benachbarten Äste zu umklammern. Auch das Protonema von Adventivknospen, gleichgültig, wo diese stehen, zeigt nie solche Umschlingungen. Das normale oder anormale Wachstum des Protonemas kann man am besten an einer Adventivknospe eines Astes beobachten, dessen unterhalb der Knospe gelegener Teil von Blättern entblöfst ist. Die Fäden könnten hier ohne Hindernis das untere, von Blättern befreite Astende umklammern; sie wachsen jedoch gerade von dem Aste weg und zeigen kein Bedürfnis, sich an einem Gegenstande zu befestigen. Allerdings sieht sich in der Natur das Protonema gezwungen, unter den dachziegelartig dicht aufeinander liegenden Blättern hinzuwachsen. Sobald aber die Blätter entfernt werden, wächst das Protonema gerade aus.

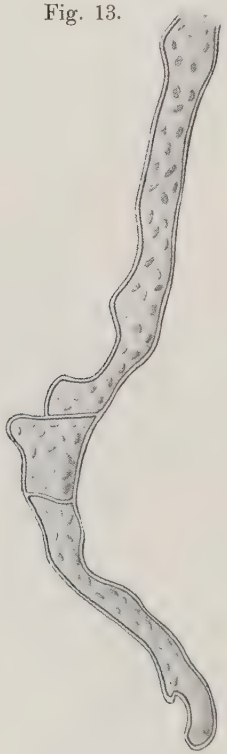
Das Umschlingen des Mutterastes ist somit keine Eigenschaft des Protonemas, letzteres wird vielmehr durch die Wachstumsbedingungen in anormaler Weise dazu gezwungen (Fig. 11). Wenn nun ein solches Aststück, an dem sich ein junges Pflänzchen gebildet hat, durch irgend welche äufseren Einflüsse losgetrennt wird, so mag diese Erscheinung den Eindruck erwecken, als habe dasselbe sich mit Hülfe seines Protonemas nachträglich an dem Astfragmente festgeklammert (Fig. 11 und 12).

Ein solches Gebilde stimmt mit Schimpers Abbildung eines

„Saatpflänzchens“ völlig überein. Wahrscheinlich waren aber diese jungen Pflanzen nicht aus primärem Sporenprotonema, sondern aus Adventivknospen hervorgegangen. Die Täuschung ist in diesem Falle allerdings begreiflich, da sich die Knospen mit Protonema schon in sehr jugendlichem Stadium vom Mutteraste loslösen können.

Die von Schimper an den sogenannten „Wurzeln“ beobachteten „Saugwärzchen“ (Fig. 10) konnte ich an dem sekundären Protonema nicht bemerken. Leider war ich nicht in der Lage, auch primäres daraufhin zu prüfen. Allerdings beobachtete ich am Protonema kleine, runzelige Unebenheiten der Membranen (Fig. 13), aber keine regelmäfsigen Vorsprünge (Fig. 10). Diese Runzeln sind aber nicht typische, stets vorhandene Gebilde, sondern treten nur bei der Kultur auf festem Substrat (Torf) auf, während das Protonema in Flüssigkeitskulturen meist glatte Membranen aufweist. Ob aber diese Unebenheiten zur Befestigung des Pflänzchens Nahmhaftes beitragen, möchte ich bezweifeln.

Fig. 13.



Teil eines Protonemafadens von Sphagn. falcatum mit runzeligen Unebenheiten der Membranen. Vergr. 260.

Trennt man von einer jungen Pflanze das Protonema ab, so wächst sie ohne jenes weiter und bildet kein neues Protonema aus. Sie bedarf also desselben nicht mehr unbedingt zu ihrer weiteren Existenz. Auch das Protonema der Adventivknospen wird nicht wieder ersetzt, wenn sie des ursprünglich angelegten beraubt sind. Es bildet sich dagegen bald eine neue Knospe an der alten aus. Die junge Knospe wächst dann zu einem Pflänzchen mit Protonema heran; die alte Knospe geht nach einiger Zeit zu Grunde. Zerschneidet man eine junge Sphagnumpflanze in mehrere Teile, so können diese kein Protonema bilden. Nur die Pflänzchen, welche noch keine gebüschelten Äste tragen, besitzen unterhalb des Köpfchens ein in seinen äufseren Zellschichten unvollständig differenziertes Gewebe, das bei Verletzungen imstande ist, Protonema zu erzeugen.

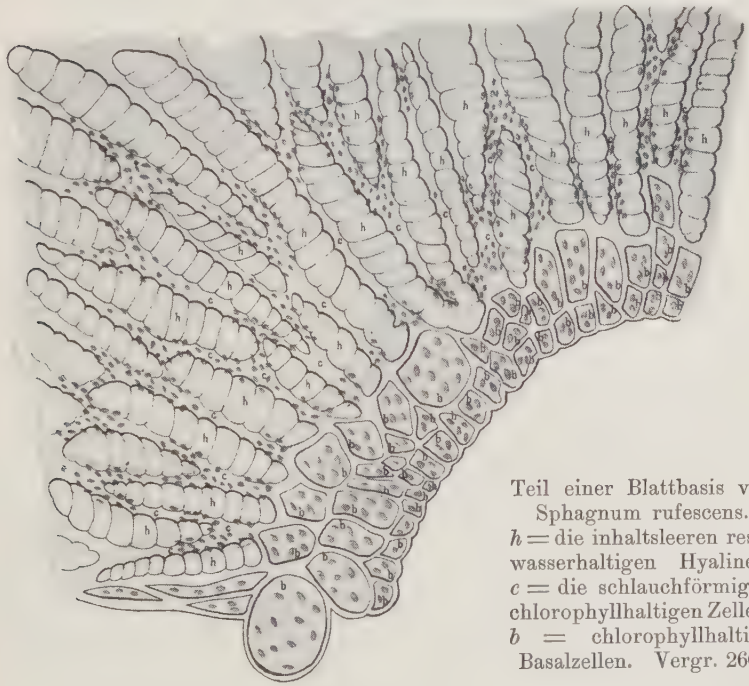
Protonema der ausgewachsenen Pflanze.

An den verletzten Teilen der Hauptachsen ausgewachsener Pflanzen erhält man ebenfalls nie Protonema, mit Ausnahme der oberen Partie des Vegetationskegels. Wenn man sämtliche Äste eines Köpfchens nebst der Terminalknospe abtrennt und den nackten Vegetationskegel unter günstigen Bedingungen kultiviert, so zeigen die Stellen, an denen die Äste des Centrums entsprangen, Protonemabildung. Dieselbe erklärt sich aus dem Umstande, dafs das Gewebe des Vegetationskegels aus Urmeristem besteht. Der seines Köpfchens beraubte Hauptteil der ausgewachsenen Pflanze ist nicht imstande, Protonema zu bilden.

Protonema der Blätter.

Über die vegetative Vermehrung der Blätter von Sphagnum sind bis jetzt noch keine wesentliche Beobachtungen gemacht worden. Auch Goebel hat an Blättern kein Protonema gesehen.

Fig. 14.



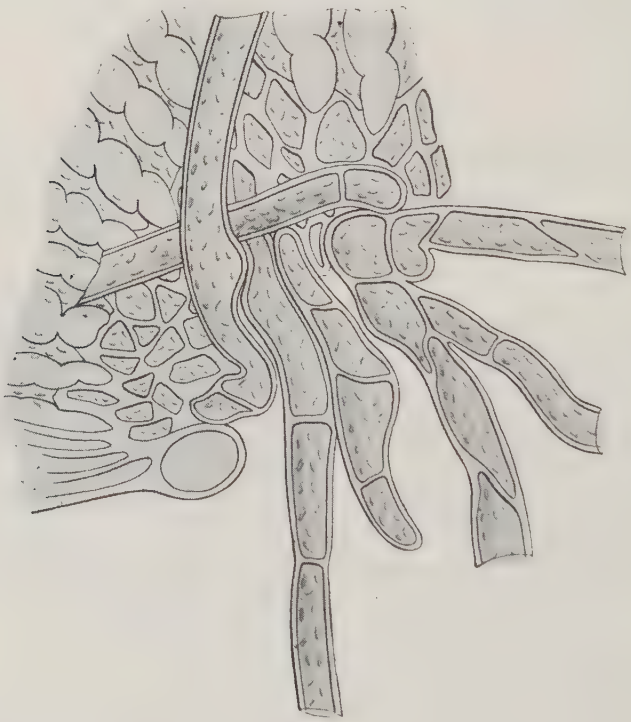
Teil einer Blattbasis von Sphagnum rufescens. *h* = die inhaltsleeren resp. wasserhaltigen Hyalinen. *c* = die schlauchförmigen chlorophyllhaltigen Zellen. *b* = chlorophyllhaltige Basalzellen. Vergr. 260.

In meinen Kulturen erhielt ich jedoch solches an verschiedenen Stellen der Astblätter infolge von Verletzung. Diese darf aber nicht zu tiefgreifend sein, da sonst die Blätter rasch absterben.

Protonema der Basalzellen der Blätter.

Die Basalzellen (Fig. 14 *cc*) abgetrennter Astblätter können nach einigen Tagen, je nach den äufseren Bedingungen, zu Protonema, Zellflächen oder Knospen auswachsen (Fig. 15 u. 16). Das

Fig. 15.



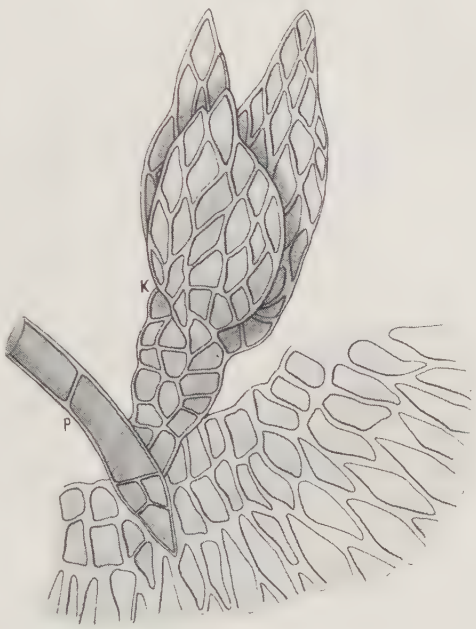
Fragment eines basalen Blattteiles von Sphagn. rufescens. Basalzellen zu Protonema auswachsend. Vergr. 260.

Protonema tritt meist in Begleitung von Zellflächen und Knospen auf; nur wenige Male erhielt ich nur Protonema (Fig. 15). Die Bildung dieses wie auch der Zellflächen und Knospen wird durch schwaches Licht gefördert.

Protonema der chlorophyllhaltigen Zellen der Blätter.

Aufser den Basalzellen vermögen auch die zwischen den Hyalinen eingelagerten chlorophyllhaltigen Zellen der Blattspreite, wenn letztere verletzt wird, Protonema auszubilden. Abgetrennte aber sonst unverletzte Blätter von Sphagnum können jedoch nicht, wie z. B. solche von Hypnum giganteum, Lophocola bidentata u. a., an der dem Substrat aufliegenden Blattfläche Protonema bilden; auch ein Auswachsen der unverletzten Blattspitze, wie sie bei den genannten Moosen beobachtet wurde, findet bei Sphagnum nicht statt. Das Protonema an Blättern beobachtete ich hauptsächlich bei Sphagn. rufescens und Sphagn. mucronatum, während Sphagn. falcatum in den meisten Fällen wegen seiner Zartheit zu Grunde ging.

Fig. 16.



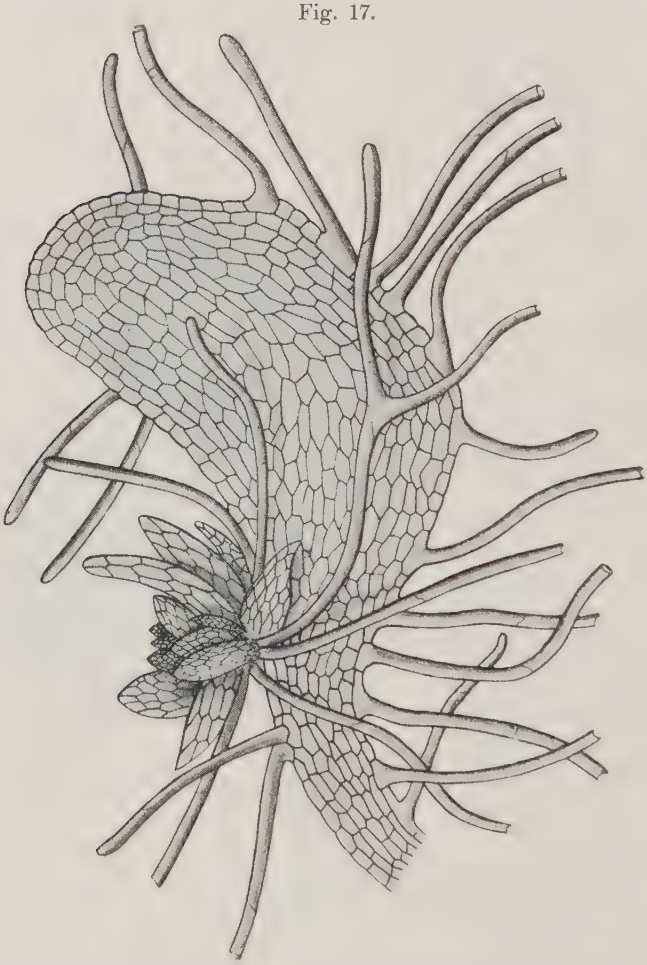
Basaler Blattteil von Sphagn. rufescens.
k = Kospe. p = Protonema. Vergr. 260.

Protonema der sekundären Zellflächen.

An den Zellflächen, auf deren Entstehung und Entwickelung ich später zu sprechen komme, kann sowohl aus den Randzellen, als auch aus den Zellen der dem Substrat zugewandten Seite Protonema entspringen, die sogenannten „Wurzelfasern“ der „Erdprothallien Schimpers“ (Fig. 17). Ein morphologischer Unterschied zwischen den beiden Seiten dieser aus einer Lage von Zellen bestehenden Zellflächen ist nicht vorhanden; es ist daher auch gleichgültig, welche Seite der Fläche mit dem Substrat in Berührung

kommt. Wendet man eine solche Zellfläche, die auf ihrer Unterseite Protonema gebildet hat, um, so tritt auf der neuen Unterseite wieder Protonema auf. Diese Erscheinung wird weder durch

Fig. 17.



Zellfläche von Sphagn. mucronatum mit Protonema und Knospe, von oben gesehen. Das Protonema entspringt sowohl den Zellen des Randes, als auch denen der Flächenunterseite. Vergr. 64.

negativen Heliotropismus noch durch positiven Hydrotropismus, sondern nur durch den Kontakt der Zellfläche mit dem festen Substrat hervorgerufen, was aus folgenden Versuchen hervorgeht.

Brachte ich sekundäre Zellflächen auf Torf in Nährlösung, so trat die Protonemabildung wie an der Luft nur an den Kontaktstellen der Zellfläche mit dem Substrat auf. Dabei beobachtete ich einzelne Zellflächen, die zum Substrate senkrecht standen. Wäre nun für die Protonemabildung der positive Hydrotropismus bedingend, so hätte das Protonema auf beiden Seiten der Fläche entspringen müssen; wäre es der negative Heliotropismus, so hätte das Protonema an der vom Licht abgekehrten Seite entstehen müssen. An diesen senkrecht stehenden Zellflächen beobachtete ich jedoch kein oder nur selten Protonema.

Die Anlage und die weitere Entwickelung des Protonemas werden durch schwaches Licht befördert. In dieser Beziehung hat die Protonemabildung der Zellflächen grofse Ähnlichkeit mit der fadenartigen Prothalliumbildung von Pteris cretica, bei welcher Klebs schwaches Licht als wesentliche Bedingung für die Entstehung von Zellfäden festgestellt hat.

Verkümmerung des Protonemas.

Auf das Wachstum von Sphagnum nachteilig wirkende Lösungen, wie z. B. Kalksalze u. a. (Tabelle VIII, IX, X), verhindern entweder die Bildung von Protonema ganz, oder verursachen ein späteres Verkümmern desfelben. Es zeigt dann braunrote Zellmembranen, und gleicht den Rhizoiden der Laubmoose.

Seine Fäden sind unregelmäfsig hin- und hergebogen und vielfach ineinander verschlungen. Es erreicht, ohne sich zu verzweigen, eine gewisse Länge, und stellt bald das Wachstum ein. Dieses Protonema kann weder Zellflächen noch Knospen bilden. Auf den ersten Blick glaubt man, dafs es abgestorben sei. Man bemerkt jedoch schon bei schwacher Vergröfserung eine Menge von Chlorophyllkörpern in den Zellen. Unter günstigen Kulturbedingungen treiben die Fäden normale Zellen mit farbloser Membran, und die ursprünglich braun gefärbten Wände verlieren langsam diese Farbe.

Luftwurzeln.

Die in den Blattwinkeln der jungen Sphagnumpflanze entspringenden Zellfäden hat Schimper 1858 schon beobachtet. Er erwähnt sie als äufserst selten vorkommende, ungemein dünne,

bleiche Luftwürzelchen, die nach der Anlage der ersten gebüschelten Äste absterben, ohne durch neue ersetzt zu werden. An einer anderen Stelle seines Werkes legt er diesen Gebilden eine grofse Bedeutung als „Haft- und Saugwurzeln“ bei. Wie wir sehen werden, sind sie noch zu weit wichtigeren Funktionen befähigt. Bei der Besprechung des Protonemas der Hauptachse legte ich dar, dafs die Teile eines zerschnittenen jungen Sphagnumpflänzchens mit Ausnahme des Köpfchens nicht imstande seien, Protonema zu bilden. Man findet aber in manchen Kulturen mit solchen Stammstücken nach einiger Zeit an verschiedenen Segmenten Protonemafäden. Diese wurden aber ursprünglich nicht als Protonema angelegt, sondern sind umgebildete Luftwurzeln.

Bei ihrer Anlage sind dieselben fast farblos, bilden aber später Chlorophyll aus, und gleichen sehr dem eigentlichen Protonema. Wie dieses können sie der vegetativen Fortpflanzung dienen, indem sie sich verzweigen, Zellflächen und Knospen bilden.

Die Luftwurzeln sterben, wie Schimper schon beobachtet hat, zu gleicher Zeit wie das Protonema der jungen Pflanze ab, in einem Alter, in welchem das junge Pflänzchen ihrer nicht mehr bedarf. Wird jedoch die junge Pflanze verletzt, so werden die Luftwurzeln zu einem normalen Protonema, das sich verzweigen, Knospen und Zellflächen bilden kann. Die Ähnlichkeit der Luftwurzeln mit dem Protonema liefs übrigens ein solches Verhalten erwarten.

Die „Luftwurzeln“ entstehen in feuchter Luft; auf den Torfkulturen erhielt ich sie daher stets, in Flüssigkeitskulturen nur ausnahmsweise. Sie reagieren gegenüber Nährlösungen und Licht verschiedener Intensität wie das Protonema der Kurztriebe. Bei der Bildung und der weiteren Entwickelung der Luftwurzeln waren bei den drei Sphagnumarten keine Unterschiede zu konstatieren.

Zellflächen.

Die aus der Spore resp. dem Vorkeim hervorgehenden Zellflächen hat Schimper 1858 als „Erdprothallien“ genau beschrieben. Adventive Anlagen von Zellflächen wurden aber bis jetzt noch nicht beobachtet, und doch nehmen solche gewifs nicht den kleinsten Anteil an der vegetativen Fortpflanzung von Sphagnum. Aus meinen Kulturen geht hervor, dafs alle Zellgewebe, an denen Protonema entstehen kann, auch imstande sind, Zellflächen zu

bilden. Somit trifft man sie am Protonema, an den Luftwurzeln, an den Kurz- und Langtrieben, an den Hauptachsen, an den Blättern und an den sekundären Zellflächen selbst. Für ihre Form und für ihr Verhalten gegen äufsere Einflüsse (verschiedene Ernährung und Beleuchtung) ist der Ort ihrer Entstehung nicht von Wichtigkeit.

Zellflächen des sekundären Protonemas.

Die aus einer Schicht kleiner Parenchymzellen bestehenden Zellflächen können sowohl an den Hauptachsen des Protonemas, wie auch an sämtlichen bei Sphagnum gleichwertigen Verästelungen auftreten. Beim Vorkeim bilden nach den Angaben von Goebel 1889 hauptsächlich die Hauptachsen Zellflächen aus; daneben aber

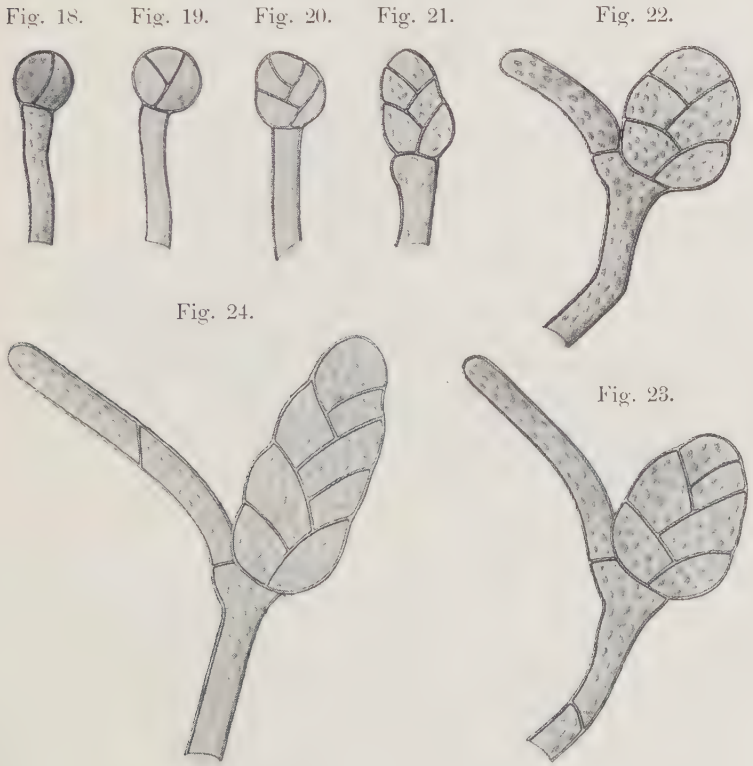


Fig. 18 bis 24. Entwickelungsgang einer am Protonema von Sphagn. mucronatum terminal angelegten Zellfläche. Die kugelige Anschwellung der Fadenzelle begann am 2. Januar 1897. Vergr. 260.

auch die Wurzeläste des primären Protonemas. Am sekundären beobachtete ich beide Erscheinungen sehr häufig.

Die Zelle, welche zu einer Zellfläche auszuwachsen sich anschickt, schwillt kugelig an und teilt sich bald (Fig. 18). Kurz darauf entsteht durch eine sich schief ausbildende Teilungswand eine zweischneidige Scheitelzelle, die nach rechts und links Segmente abgiebt (Fig. 19). Seltener trat in einer Fadenzelle zuerst Teilung nach allen Richtungen ein und erst später nur noch nach

Fig. 25.

Protonema des Bildungsgewebes von Sphagn. falcatum. Infolge der Abtrennung vom Mutteraste haben fast alle Fäden des Protonemas Zellflächen gebildet. *a* = ein kleines Stück des Astes. Vergr. 64.

zweien. Dadurch entsteht ein einfacher Lappen von länglich ovaler bis nierenförmiger Gestalt (Fig. 23, 24). Diese wird auch beim späteren Wachstum mehr oder weniger beibehalten, während die Zellflächen des primären Vorkeims zuerst zwei-, dann mehrlappig werden und schliefslich ein stark verästeltes, kraus gelapptes, der Blasia nicht unähnliches Gebilde darstellen.

Gewöhnlich werden am Protonema von Sphagnum gleichviele seitliche, wie terminale Zellflächen angelegt; trotzdem trifft man später die meisten Zellflächen seitlich stehend. Der Grund dieser Erscheinung liegt in der Art der Weiterentwickelung des Protonemafadens.

Wenn die junge terminal angelegte Zellfläche etwa vier bis sechs Zellen aufweist, wölbt sich die Protonemazelle, welche nun die Zellfläche trägt, ursprünglich aber die vorletzte des Fadens war, seitlich vor und bildet durch weiteres Wachstum die Verlängerung des ursprünglichen Protonemafadens. Die Zellfläche ist dadurch aus ihrer terminalen Lage in eine laterale versetzt worden (Fig. 21 bis 24). Die Verlängerung des Protonemas trägt häufig wieder terminale Zellflächen oder auch solche, die ursprünglich seitlich angelegt waren. So konnte ich oft Protonemafäden beobachten, die drei bis vier Zellflächen trugen (Fig. 25). Zuerst ist der Übergang der ursprünglichen Protonemazellen in die später angelegte Verlängerung an der Basis der Zellfläche noch deutlich; später wird aber eine Unterscheidung unmöglich, so dafs man glauben mufs, alle Zellflächen seien seitlich angelegt worden; dieses kann allerdings auch vorkommen. In diesem Falle baucht sich eine beliebige Zelle des Protonemafadens seitlich aus und entwickelt sich dann in der beschriebenen Weise zu einer Zellfläche.

Zellflächen am Protonema der Äste.

Die Zellflächen treten auf, wenn man von Protonema tragenden Kurztrieben das Protonema mit einem Stück des Astes abschneidet. Je kleiner ein solches Aststück ist, in desto kürzerer Zeit erscheinen unter günstigen Bedingungen Zellflächen.

Einflufs des Lichtes.

Schwaches Licht (2 bis 3 m vom Fenster entfernt) ist für das Gedeihen von Zellflächen am günstigsten. In einem noch schwächeren Lichte (mehr als 3 m vom Fenster entfernt) treten die Zellflächen seltener auf; auch ist ihre Entwickelung dann eine viel langsamere (Tab. VI). Unter Einwirkung des direkten Sonnenlichtes bilden sich, wie in zu schwachem Lichte, seltener Zellflächen, und diese brauchen zu ihrer Entwickelung auch mehr Zeit. In sehr schwachem Lichte ($7^1/_2$ m vom Fenster entfernt) kann das Protonema keine Zellflächen mehr ausbilden.

Zellflächen am Protonema der Zellflächen.

Die Zellflächen können, wie oben erwähnt wurde, aus ihren sämtlichen Zellen Protonema entwickeln, und zwar stets auf der mit dem Substrat in Kontakt stehenden Seite. Wird eine solche Fläche so umgekehrt, dafs das Protonema sich auf der vom Substrat abgekehrten Seite befindet, so entwickeln sich an diesen Protonemafäden unter nachstehenden Bedingungen Zellflächen. Um in möglichst kurzer Zeit Zellflächen zu erhalten, müssen diese Gebilde in eine konzentriertere Nährlösung (0,3 bis 0,5 Proz.) gebracht werden. In schwacher Lösung (bis 0,2 Proz.) gedeiht das Protonema wohl, bildet aber selten Zellflächen aus. Ihre Entwickelung wird durch etwas intensiveres Licht beschleunigt, doch ist sie nicht direkt davon abhängig; sie bilden sich auch im schwachen Lichte aus. Wenn ich stärkere Nährlösung und etwas helleres Licht zugleich einwirken liefs, erhielt ich nach dem Umwenden der alten Zellflächen in kurzer Zeit an fast allen vorhandenen Protonemafäden Zellflächen.

Zellflächen an den „Luftwurzeln".

Unter den soeben angeführten Bedingungen entstehen Zellflächen auch an den Luftwurzeln. Wird eine mit Luftwurzeln versehene junge Pflanze in Stücke geschnitten, so werden die Luftwurzeln bald grün, und entwickeln in guter Nährlösung (0,3 bis 0,5 Proz.) Zellflächen. Diese treten um so rascher auf, je kürzer die Rudimente der zerschnittenen Pflanze sind.

Zellflächen der Äste.

In sehr verschiedener Weise erfolgt die Anlage der Zellflächen an den Ästen.

Zellflächen der Kurztriebe.

An den abgetrennten Kurztrieben können die Zellflächen am Bildungsgewebe und am Vegetationspunkte entstehen. An dem Bildungsgewebe wuchsen meist nebeneinander Zellflächen und Protonema aus; ich konnte durch keine äufseren Einflüsse die Anlage eines der beiden Gebilde vollständig verhindern. Das verschiedene Verhalten unter denselben Bedingungen ist daher wohl auf die Unterschiede in den Mengen der Assimilate zurückzuführen, die in den verschiedenen Zellen vorhanden sind. Die

Beginn der Kulturen am 11. V. / Aufeinanderfolgende Beobachtungstage	Kulturen im Fenster				Kulturen 1 m vom Fe			
	durchschnittliche		durchschnittliche		durchschnittliche		durchs	
	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenläng eines Protonem mm	
11. V.	0,1312	—	0,2811	—	0,1499	—	0,1396	
19. V.	0,1874	—	0,3373	—	0,2249	—	0,1686	
29. V.	0,1874	—	0,3935	—	0,3935	—	0,2811	
8. VI.	0,1874	—	0,4685	—	0,4399	—	0,4122	
25. VI.	0,2081	—	0,5059	—	0,4399	0,00211	0,5059	
9. VII.	0,2081	0,00175	0,5247	0,0014	0,4399	0,00317	0,5059	

Beginn der Kulturen am 11/V. / Aufeinanderfolgende Beobachtungstage	Kulturen 4 m vom Fenster				Kul	
	durchschnittliche		durchschnittliche		durchs	
	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenläng eines Protonem mm	
11. V.	0,1124	—	0,1874	—	0,1499	
19. V.	0,1874	—	0,1874	—	0,1879	
29. V.	0,2376	—	0,2613	—	0,2613	
8. VI.	0,2811	0,00123	0,2811	0,00110	0,2613	
25. VI.	0,2811	0,01405	0,2998	0,00123	0,2613	
9. VII.	0,2811	0,02809	0,2998	0,00189	0,2613	

Tabelle VI.

ıtes Protonema.

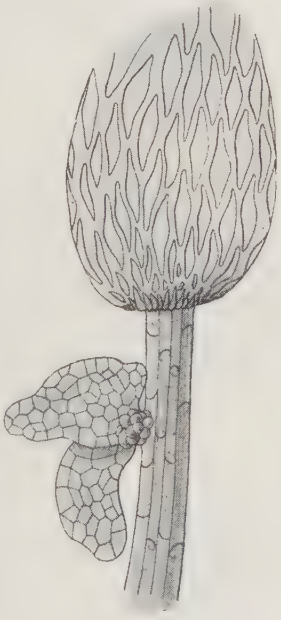
ɔnster		Kulturen 2 m vom Fenster				Kulturen 3 m vom Fenster			
chnittliche		durchschnittliche		durchschnittliche		durchschnittliche		durchschnittliche	
ge as	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm
	—	0,4685	—	0,1312	—	0,2248	—	0,2811	—
	—	0,5059	—	0,1874	—	0,3747	—	0,2811	—
	—	0,5247	0,00211	0,1874	0,00317	0,4685	0,00277	0,2811	0,00527
	—	0,5247	0,00316	0,1874	0.00416	0,4685	0,0224	0,3748	0,0223
	—	0,5622	0,0096	0,1874	0,00527	0,4685	0,0422	0,3748	0,0379
	0,00527	0,5622	0,0189	0,1874	0,0096	0,4685	0,1663	0,3748	0,0843

turen $5^1/_2$ m vom Fenster		Kulturen 7 m vom Fenster.			
chnittliche		durchschnittliche		durchschnittliche	
ge as	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm	Fadenlänge eines Protonemas mm	Grösse der Zellflächen qmm
	—	0,0937	—	0,0937	—	0,2248	—
	—	0,0937	—	0,0937	—	0,2811	—
	—	0,0937	—	0,0937	—	0,2998	—
	—	0,0937	—	0,0937	—	0,2998	—
	—	0,0937	0,0014	abgest.	—	0,2998	—
	—	abge-storben	0,0017 abgest.	—	—	Anlage einre Knospe	—

Zellen, denen viel Nährstoffe zur Verfügung stehen, wachsen zu Zellflächen aus, diejenigen mit einem nahrungsärmeren Inhalt zu Protonema.

Aufser diesen dem Bildungsgewebe entspringenden Zellflächen erscheinen auch solche am Vegetationspunkte der Äste, wenn dieser zu einem neuen Pflänzchen auswächst (siehe unter „Knospen"!). Da, wo dasselbe aus dem Mutterindividuum hervortritt, bemerkt man eine rosettenartige Anordnung von Zellflächen und Protonema. Die Zellen des ursprünglichen Vegetationskegels sind zu Zellflächen oder Protonema ausgewachsen, je nachdem sie mit einer gröfseren oder kleineren Menge von Nährstoffen versehen waren. Hat es dann später den Kontakt mit der Mutterpflanze verloren, oder ist letztere abgestorben, so ernähren die Protonemafäden und Zellflächen das junge Pflänzchen, welches sie an der Basis rosettenartig umgeben. Bei der weiteren Entwickelung der jungen Pflanze stirbt der untere, die Rosette tragende Teil ab, und die Zellflächen, welche schon in diesem Stadium eigenes Protonema tragen, wachsen dann ihrerseits je nach den äufseren Einflüssen zu jungen Pflanzen aus.

Fig. 26.



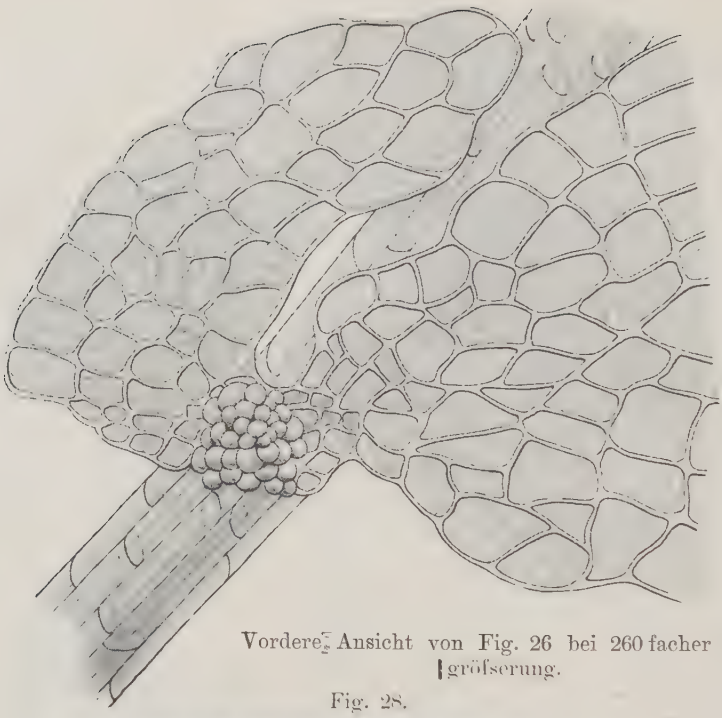
Sphagn. mucronatum. Seitliche Ansicht zweier aus einer Zellanhäufung hervorgegangener Zellflächen eines Langtriebes. Vergr. 43.

Zellflächen der Langtriebe.

Bei den Versuchen, die Zellflächenbildung an den Langtrieben zu erzielen, zeigte es sich, dafs drei verschiedene Gewebepartieen imstande sind, Zellflächen hervorzubringen; nämlich der Holzcylinder, die noch nicht vollständig differenzierten äufseren Zellschichten, welche sich unterhalb des Vegetationskegels befinden, und dieser selbst.

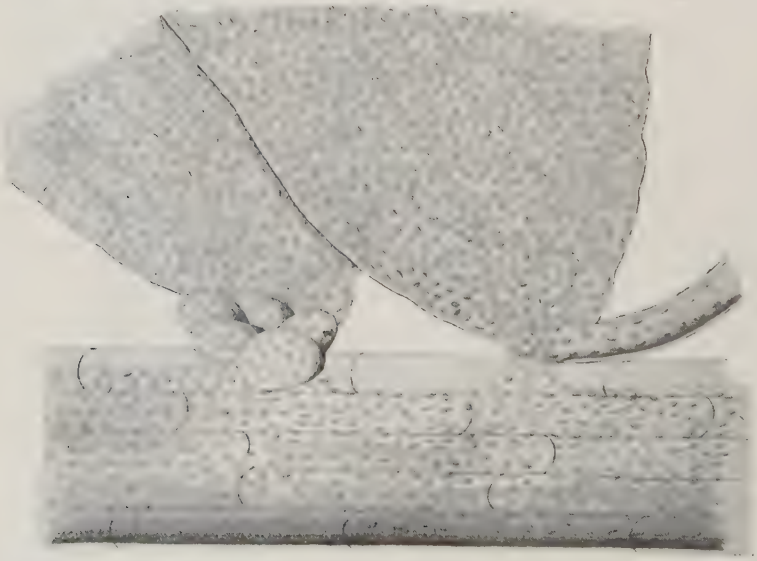
Ich legte die Kulturen in ähnlicher Weise auf feuchtem Torf an, wie Vöchting 1884 bei seinen Versuchen zur Erzeugung von Zellflächen an den weiblichen Inflorescenzstielen von Marchantia. Sowohl die abgetrennten, ihrer Inflorescenzen beraubten Stiele, als wie auch solche mit denselben, zeigten bei

Fig. 27.



Vordere Ansicht von Fig. 26 bei 260facher Vergrösserung.

Fig. 28.



Zellflächen aus dem Holzcylinder eines Langtriebes von Sphagn. falcatum entspringend. Vergr. 260.

seinen Versuchen, dafs Laubsprosse stets an den ursprünglich basalen Teilen der Stiele entstanden; es war ganz gleich, ob letztere in normaler oder umgekehrter Lage in das Substrat gesteckt worden waren. Somit zeigen diese weiblichen Inflorescenzstiele Polarität.

Bei meinen Versuchen mit Sphagnum-Langtrieben erhielt ich Zellflächen an verschiedenen Stellen der Äste, gleichgültig, ob die Astteile mit ihrem basalen oder apikalen Ende das Substrat berührten. Die Äste von Sphagnum sind somit nicht polar differenziert.

Fig. 29.

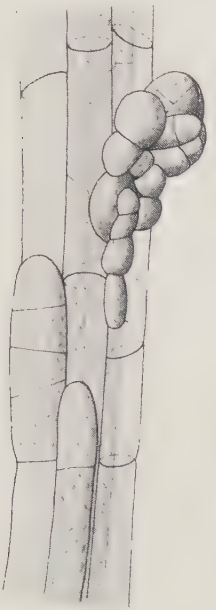


Fig. 30.

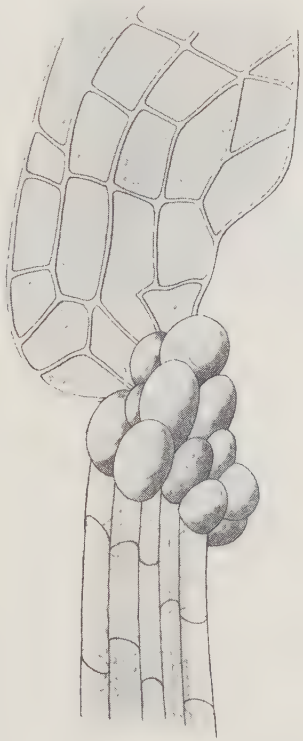


Fig. 29. Oberer Teil eines Langtriebes von Sphagnum mucronatum. Aus den unterhalb des Vegetationskegels befindlichen undifferenzierten Gewebepartieen entwickeln sich Zellflächen und Protonema. Vergr. 260. — Fig. 30. An seinem Vegetationspunkte verletzter Langtrieb von Sphagnum mucronatum. Alle unverletzten Zellen des Vegetationskegels sind stark angeschwollen, aus einer derselben hat sich eine Zellfläche entwickelt. Vergr. 260.

An ihnen entstanden Zellflächen erstens an den Internodien der Aste, unabhängig von der Insertion der Blätter. Zuweilen erscheint vor dem Auftreten dieser Zellflächen an dem Aste eine kleine tuberkelartige Zellanhäufung, deren Ursprung in der Holz-

schicht zu finden ist (Fig. 26 u. 27). Aus den einen Zellen dieser Anhäufung entwickeln sich Zellflächen, aus den anderen Protonema. Hier entstehen also Zellflächen aus dem Holzcylinder von Ästen (Fig. 26). Die Versuche, an der Abtrennungsstelle der Langtriebe aus dem Holzcylinder Zellflächen zu erhalten, blieben erfolglos.

Zweitens erhielt ich Zellfäden an dem oben erwähnten undifferenzierten Gewebe der Langtriebe (Fig. 29). Der Grund für diese Zellflächenbildung ist hauptsächlich wieder in dem grofsen Vorrat an Assimilaten (an organischen Substanzen ärmere Zellen wachsen zu Protonema aus), ferner in dem Kontakt mit feuchtem Substrat und der Wirkung eines Lichtes mittlerer Intensität zu suchen.

Fig. 31.

Vegetationspunkt eines Langtriebes von Sphagn. mucronatum, dessen sämtliche Zellen sich zu Zellflächen umgebildet haben. Vergröfserung 64.

Endlich erhielt ich Zellflächen am Vegetationskegel der Langtriebe. Verletzte ich nur die Scheitelzelle eines Vegetationspunktes, so wuchsen unter günstigen Kulturbedingungen die übrigen Zellen desselben zu Zellflächen, Protonema und Knospen aus (Fig. 30).

Oft schwollen die Zellen des Vegetationspunktes zu einem baumstrunkartigen Gebilde an, aus welchem die von Zellflächen und Protonema umgebene junge Pflanze hervorging.

Aufserdem beobachtete ich zuweilen Langtriebe, deren Vegetationspunkte ohne jegliche Anschwellung und ohne Protonema- oder Knospenbildung zu Zellflächen auswuchsen (Fig. 31).

Ich halte dieses für eine ganz ähnliche Bildung, wie sie von Goebel bei Schistostega osmundacea beobachtet wurde. Denn

auch bei Sphagnum hat die Scheitelzelle die Fähigkeit, sich weiter zu entwickeln, noch nicht verloren, sondern äufserte ihre weitere Entwickelung nur in anderer Weise. Diese Versuche zeigen, dafs ausgewachsene Zellen hauptsächlich der Langtriebe imstande sind, neue Sphagnumpflanzen hervorzurufen. Die Zellflächenbildung wird in diesen Fällen durch Kultur auf Torf in einem schwachen Lichte hervorgerufen.

Zellflächen der Hauptachsen.

Zellflächen der jungen Pflanze.

An den Hauptachsen von Sphagnum sind Zellflächen ziemlich selten zu beobachten. Kultiviert man junge Sphagnumpflanzen auf feuchtem Torf, so kommen hier und da Zellflächen zum Vorschein. Sie entspringen aus den äufseren Zellen des Stammes; von einer eigentlichen Rindenschicht kann man ja in diesem Stadium, bevor die gebüschelten Äste ausgebildet sind, nicht sprechen. Als Ursache ist hier der Kontakt zwischen der jungen Pflanze und einem mit Nährlösung getränkten Substrate anzusehen.

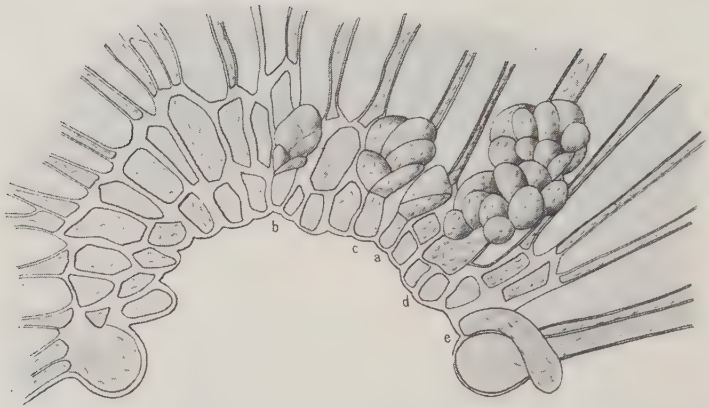
Zellflächen der ausgewachsenen Pflanze.

Aus dem vollständig differenzierten Gewebe der ausgewachsenen Pflanze können sich keine Zellflächen mehr ausbilden. Nur die obersten Zellen des Vegetationskegels, welche die Äste des Centrums tragen, sind nach Entfernung derselben imstande, Zellflächen oder Protonema zu bilden, weil sie sich noch im jugendlichen Zustande befinden.

Zellflächen der Blätter.

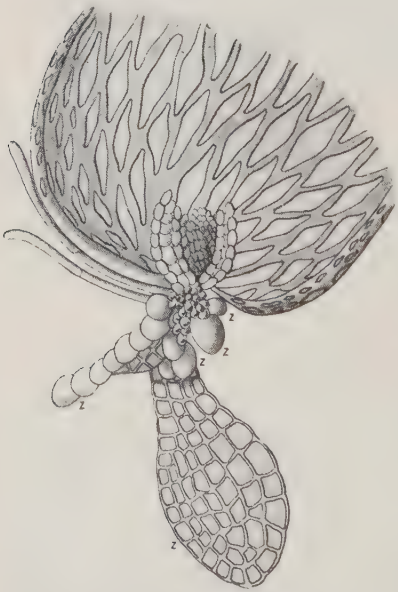
Alle chlorophyllhaltigen Zellen der Blätter können nicht nur zu Protonema, sondern auch zu Zellflächen auswachsen (Fig. 32). Vor allem zeichnen sich die Basalzellen dadurch aus, dafs sie häufig Zellflächen bilden, und zwar in 0,3 bis 0,5 proz. Nährlösung und in einem Lichte mittlerer Intensität. Doch traten an einem Blatte selten Zellflächen allein auf; fast stets sind zu gleicher Zeit auch Knospen und Protonema zu beobachten (Fig. 32). Die Zellflächen entwickeln sich meist nicht direkt aus den basalen Blattzellen, sondern aus einer von diesen gebildeten wulstigen Zellanhäufung (Fig. 33, 34, 44). Es gelang mir nicht, durch äufsere

Fig. 32.



Basaler Teil eines Astblattes von Sphagn. rufescens. *a* und *b* = junge Zellflächen, *c* und *d* = Anlagen von Knospen, *e* = Protonema. Vergr. 260.

Fig. 33.



Teil eines Blattes von Sphagn. mucronatum, aus dessen Basalzellen Zellflächen, Knospen und Protonema entstanden sind. 16 Tage nach der Abtrennung des Blattes. *z* = Zellflächen verschiedenen Alters. Vergr. 260.

Einflüsse die Bildung von Knospen und Protonema zu verhindern, um die Zellflächen allein zu erhalten, da bei dem mittelschwachen Lichte, das der Zellflächenbildung günstig ist, regelmäfsig auch Knospen auftreten.

Die chlorophyllhaltigen Zellen des übrigen Blattteiles bilden Zellflächen, wenn derselbe verletzt ist. Die an die Wundstelle angrenzenden unverletzten Zellen wachsen dann zu Zellflächen, Protonema und Knospen aus (Fig. 35). Auch hier konnte ich nur selten die einzelnen Organe ohne die anderen hervorrufen, vermutlich bestimmt der Gehalt an Nährstoffen jeder einzelnen Zelle die Art des vegetativen Organes, das aus derselben hervorgeht. Die unverletzten Blattspitzen können nicht zu Zellflächen auswachsen.

Fig. 34.

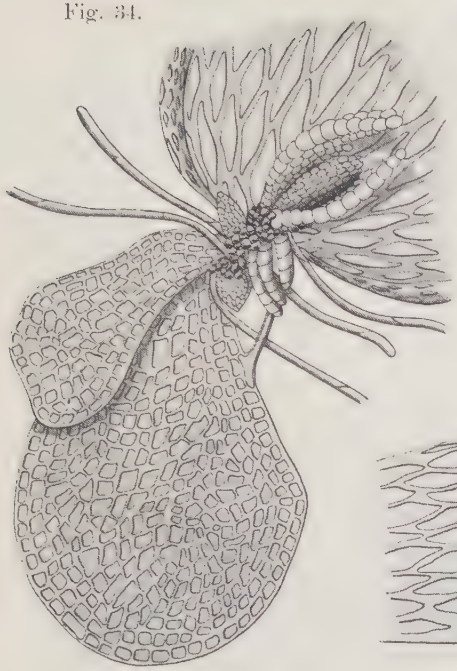


Fig. 35.

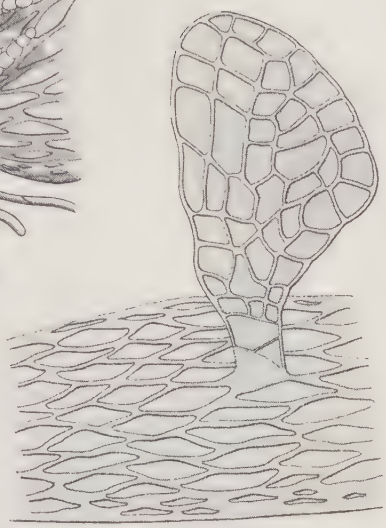


Fig. 34. Blatt Fig. 33 mit weiter entwickelten Zellflächen, Protonema und Knospen. 27 Tage nach Abtrennung des Blattes. Vergr. 260. — Fig. 35. Oberer Blattteil von Sphagn. rufescens, an dessen unterer Abtrennungsstelle eine chlorophyllhaltige Zelle zur Fläche ausgewachsen ist. Vergr. 260.

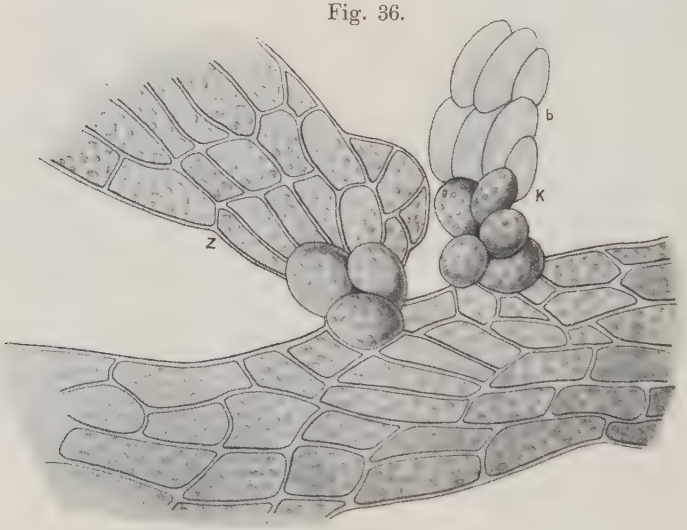
Zellflächen an den Zellflächen.

Alle Zellflächen verhalten sich, wenn man sie abgetrennt hat, unter denselben Bedingungen gleich, ob sie nun an dem Protonema, an den Ästen, an den Hauptachsen, an den Blättern oder an den Zellflächen gebildet werden. Werden abgetrennte Zellflächen in hellem Lichte kultiviert, so verändern sie ihre ursprünglich ovale bis nierenförmige Gestalt fast gar nicht. Bringt man sie aber in ein schwächeres Licht (ca. 4 m vom Fenster entfernt), so gehen aus ihren Randzellen Adventivzellflächen hervor (Fig. 36). An letzteren entstehen später wieder Zellflächen u. s. w., so dass wir es mit einem der Opuntia ähnlichen Gebilde zu thun haben. Wir können auf diese Weise, wie schon von G. Klebs 1893 durch zweijährige Kultur eines Funariaprotonemas gezeigt wurde, auch bei den relativ leicht vergänglichen Zellflächen von Sphagnum

eine längere Zeit fortlebende Jugendform erhalten, welche nicht imstande ist, eine höhere Entwickelungsstufe zu erreichen.

Bei der Besprechung der am Protonema entstehenden Zellflächen erwähnte ich, dass deren Zellen die Fähigkeit besitzen, Protonema zu bilden. Im gleichen Mafse können auch aus allen Zellen, nicht nur aus denen des Stammes, sondern auch aus den übrigen Flächenzellen, mögen diese sich in der Nähe einer Flächenwundstelle befinden, oder einer unverletzten Fläche angehören, sich neue Zellflächen bilden. Letzterer Fall kann unter Umständen öfters eintreten. So beobachtete ich einige Male ältere Zellflächen,

Fig. 36.



Teil einer Zellfläche von Sphagnum falcatum. Eine Zelle des Randes hat eine Zellfläche *z*, eine andere Zelle eine Zellanhäufung mit Knospenanlage *k* gebildet, *b* = junges Blatt. Vergr. 260.

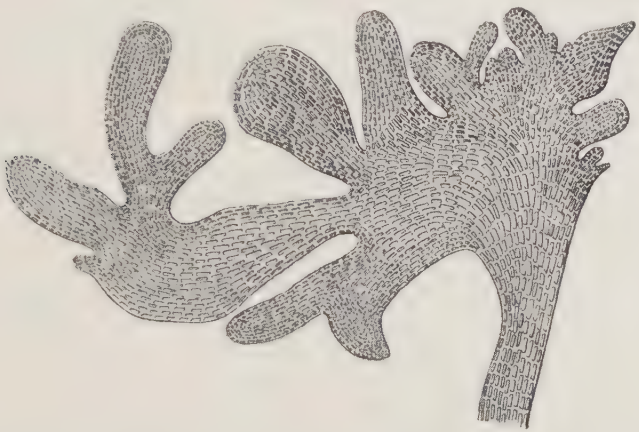
die auf ihrer Oberfläche neue Flächen bildeten. Unter denselben Bedingungen, besonders des Lichtes, veränderten die Mutterflächen ihre Gestalt nicht, sondern vergrösserten sich nur; sobald aber die Kultur in ein etwas schwächeres oder stärkeres Licht gebracht wurde, äufserte sich dieses Wachstum in Anlage von Knospen und Protonema. Als weitere Bedingungen hierfür fand ich: Kultur in stärkerer Nährlösung (0,3 bis 0,5 Proz.) und ein schwaches Licht von einer ganz bestimmten Intensität, die zu messen mir nicht möglich war.

Auslappungen der Zellflächen.

Brachte ich Kulturen mit normal geformten Zellflächen in ein etwas stärkeres Licht, als das bei den vorigen Versuchen angewandte (meine Kulturen hatten etwas erhöht, 3 m vom Fenster entfernt gestanden), so bildeten die Flächen an verschiedenen Teilen lappenartige Gebilde aus (Fig. 37).

Je länger die Kulturen in diesem Lichte verbleiben, um so mehr Lappen entstehen. Indem dann aus letzteren wieder Lappen hervorwachsen, verzweigen sie sich, und zwar so, dafs die Ver-

Fig. 37.



Sphagn. falcatum. Eine durch die Wirkung eines mäfsig starken Lichtes (bestimmter Intensität) erzeugte Zellflächenform. Vergr. 15.

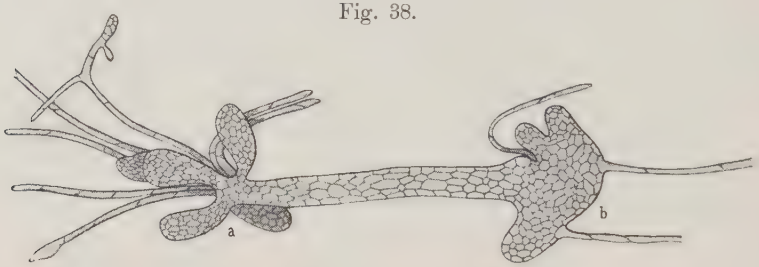
ästelungen meist schmäler sind. Damit im Zusammenhange steht, dafs die jüngeren Zellflächenäste stets weniger Längsreihen von Zellen besitzen als die Mutteräste.

Schliefslich konnte ich Lappen beobachten, die nur noch aus zwei Zellreihen bestanden. Es kann auch zuweilen ein langer schmaler Lappen an seinem apikalen Ende in mehrere Zellflächen auswachsen und zugleich auch Protonema erzeugen. Hierzu genügt eine etwas hellere Beleuchtuug während kurzer Zeit. So kamen in meinen Kulturen eigenartig gestaltete Zellflächen zustande (Fig. 38).

Aus letztgenannten Versuchen geht hervor, dafs man imstande ist, durch Kultur in bestimmter Lichtintensität die Pflanze in einem jugendlichen Stadium zu erhalten, ohne dafs sie eine höhere Ent-

wickelungsstufe erreicht. Wie ich schon oben erwähnte, gelang es Klebs, Funariaprotonema bei einer bestimmten Lichtintensität mehr als zwei Jahre hindurch zu kultivieren, ohne dafs sich An-

Fig. 38.



Ein durch Einwirkung schwachen und dann kurz gesteigerten Lichtes entstandenes Zellflächengebilde von Sphagn. mucronatum. *a* = apikaler, *b* = basaler Teil. Vergr. 43.

lagen junger Knospen daran entwickelten. Es bildete sich immer wieder neues Protonema, da das zu schwache Licht auch hier das Protonema hinderte, zur Anlage einer neuen Pflanze zu gelangen.

Zellflächenbildung bei den drei von mir untersuchten Sphagnumarten.

Bei den vorhin angeführten Versuchen lieferten mir nicht alle drei Arten gleich günstige Resultate.

Am Protonema der abgetrennten Kurztriebe von Sphagnum mucronatum und Sphagn. falcatum bildeten sich zuerst und am ausgiebigsten Zellflächen, bei Sphagn. rufescens erst nach längerer Zeit und im allgemeinen spärlicher.

Adventive Zellflächen an den Langtrieben traten selten bei Sphagn. falcatum hervor, während sie bei Sphagn. mucronatum und rufescens häufig zu verzeichnen waren. Den Übergang des Vegetationspunktes zu Zellflächen (Fig. 31) konnte ich nur bei Sphagn. mucronatum erhalten.

An den Hauptachsen der jungen Pflanzen entwickelten sich die Zellflächen unter gleichen Bedingungen bei allen drei Arten gleich gut.

Zellflächen der Blätter konnte ich sehr häufig und relativ leicht bei Sphagn. rufescens erzeugen, weniger gut bei Sphagn. mucronatum und nur selten bei Sphagn. falcatum; der Grund liegt hier wohl in der grofsen Zartheit der Blätter.

Die adventiven Flächenanlagen an Zellflächen verhielten sich bei den drei Arten gleich.

Knospen.

Bei den Knospen von Sphagnum müssen wir in erster Linie zwei Arten unterscheiden: die normalen und die adventiven. Zu den normalen Knospen sind diejenigen zu rechnen, die sich am Vegetationspunkte bilden, auch die Terminalknospe und die Innovationsknospe gehören zu dieser Kategorie. Diese normalen Knospen sind auf ihre Anlage und Bedeutung hin schon oft untersucht worden (Schimper 1858 u. a.). Im folgenden beschäftige ich mich hauptsächlich mit den Adventivknospen. Bekanntermafsen wird ihre Entstehung durch Verstümmelung der Mutterpflanze verursacht. Die Regenerationsfähigkeit der Sphagnaceen ist so grofs, dafs man an allen abgetrennten Teilen der Sphagnumpflanze, mögen sie den Haupt- oder Nebenachsen, den Zellflächen u. s. w. angehören, Adventivknospen finden kann.

Knospen des Stammes.

Während die normalen Knospen des Stammes an genau vorausbestimmten Teilen der jugendlichen Gewebe entspringen, finden sich fast an allen abgetrennten oder verletzten jüngeren und älteren Sphagnumteilen Adventivknospen. Schon Warnstorf (Botan. Centralblatt VIII) hat solche beobachtet. Er führt aus, dafs die ihrer Köpfchen beraubten Sphagnumstämme in unmittelbarer Nähe der Astbüschel jugendliche Knospen bilden. Nach meinen Untersuchungen brauchen die Knospen nicht in unmittelbarer Nähe der Astbüschel zu entspringen, sondern entstehen an ganz beliebigen Stellen der Internodien. Kultiviert man daher ein Stück eines zerschnittenen Sphagnumstämmchens, das weder Protonema noch Zellflächen zu bilden im stande ist, so entstehen Adventivknospen. Bei denselben besteht aber ein scharfer Unterschied, je nachdem sie zu Seitensprossen auswachsen, somit Aste der Mutterpflanze bilden, oder ob sie zu Hauptachsen werden, d. h. zu jungen Pflänzchen auswachsen, welche sich verästeln. Im letzteren Falle tritt an der Basis der Knospen immer Protonema auf, bei den Knospen, die zu Seitenachsen werden, niemals.

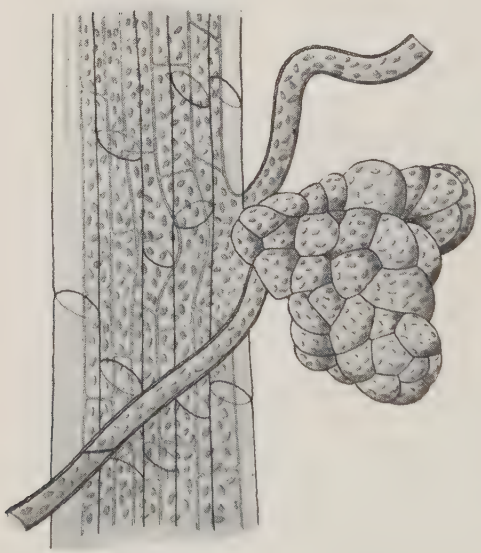
Die Stücke einer ausgewachsenen Sphagnumpflanze bilden ausschliefslich Knospen, welche zu Hauptsprossen, d. h. zu jungen

Pflänzchen werden; dagegen können sie nicht durch Knospenanlage Äste ausbilden.

Teile des jungen Sphagnumstammes besitzen dagegen die Fähigkeit, durch Knospen sowohl Haupt- als Nebensprosse zu erzeugen. Wird der untere Teil einer jungen Pflanze bis zu den ersten Ästen abgetrennt, so bilden sich daran bei normalen Kulturbedingungen beide Arten von Knospen aus, und zwar an ganz beliebigen Stellen, sei es in der Nähe einer Blattinsertion, oder unabhängig davon an einer anderen Stelle der Internodien. Weder an den alten noch an den jungen Pflanzen treten somit die Knospen in bestimmten Regionen auf; die sie bildenden Zellen sind infolgedessen gegenüber denjenigen bestimmter Moose (Marchantia, Riccia u. A., s. Vöchting 1884) nicht polar.

Als günstigste Kulturbedingungen für die Knospenanlage fand ich eine 0,2 bis 0,3 proz. Nährlösung, oder ein mit derselben angefeuchtetes Torfsubstrat. Unterschiede oder Wechsel der Lichtintensität übten nur einen geringen Einfluſs auf die Anlage oder Ausbildung der Knospen aus.

Fig. 39.



Anlage von Knospen an einem Astfragmente von Sphagn. falcatum. Vergr. 260.

Knospen der Äste (Kurz- und Langtriebe).

Auch die Äste können Knospen bilden, und zwar nur solche, die zu Hauptachsen auswachsen, da die Äste überhaupt aufser stande sind, sich zu verzweigen. Die Bildung von solchen adventiven Knospen, die zu Hauptachsen, d. h. jungen Pflänzchen werden, hat Schimper 1858 als Prolifikation bezeichnet. Diese Knospen treten an den Vegetationspunkten oder auch an den Internodien auf, unabhängig von der Blattinsertion, übrigens in derselben Weise, wie an den Stammteilen, nur dafs sie unter günstigen Verhält-

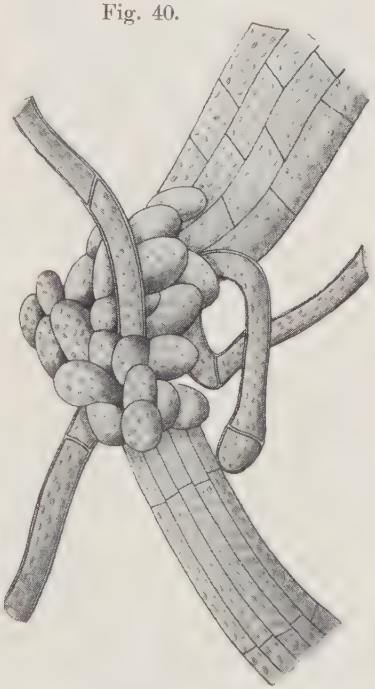
nissen an noch festsitzenden lebenskräftigen Ästen fast ebenso zahlreich sind, wie an abgetrennten (Fig. 39).

Schimper 1858 sagt von dieser Prolifikation: „In sehr seltenen Fällen, und wie es scheint nur infolge von übermäfsiger Wucherung der Stengel- und Blattorgane auf Unkosten der Fruchtbarkeit treten aus den Spitzen der Flagellenäste, sich vertical aufrichtend, sehr dünne Triebe hervor, welche den Saatpflänzchen vollkommen ähnlich, sich wie diese am Grunde mit Wurzeln besetzen, endlich abfallen und als besondere Individuen fortleben."

Nähere Angaben über die Entwickelung dieser Bildungen lieferte Schimper nicht. Auch in Limpricht's „Laubmoosen" heifst es kurz: „Nur in seltenen Fällen zeigen einzelne Äste noch seitliche Auszweigungen", und an einer anderen Stelle der Abhandlung: „Häufig bilden sich (bei anderen Moosen) vollbelaubte vegetative Sprosse gegen das Ende hin in Geschlechtssprosse um, doch nur bei Sphagnum wachsen die männlichen Äste oft vegetativ weiter."

Meine Versuche haben aber ergeben, dafs nicht nur die männlichen, sondern sämtliche Äste unter geeigneten Bedingungen imstande sind, zu proliferieren. Dabei kann man drei Arten der Prolifikation unterscheiden:

Fig. 40.



Sphagn. falcatum. Oberer Astteil, dessen Scheitelzelle infolge von Verletzung abgestorben ist. Die übrigen Zellen des Vegetationskegels sind im Begriff, zu Zellflächen, Knospen und Protonema auszuwachsen. Vergrörserung 260.

1. Knospen an den verletzten Vegetationspunkten auf tuberkelartiger Zellanhäufung.

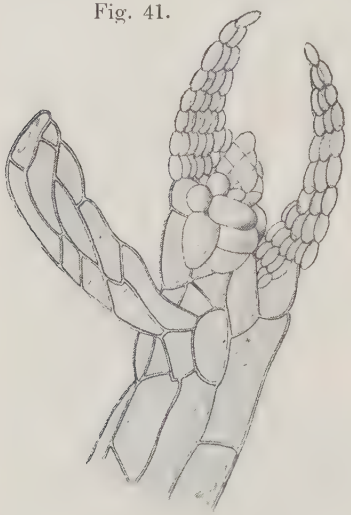
Wenn ich an kräftigen abgetrennten Ästen nur die Scheitelzelle des Vegetationspunktes verletzte, so bildeten sich die übrigen Zellen des Vegetationskegels dermafsen um, dafs eine tuberkelartige Zellanhäufung entstand, auf welcher eine Zelle eine Knospe bildete,

während die übrigen Zellen zu Protonema und Zellflächen auswuchsen (Fig. 40). Die Zellen dieses tuberkelartigen Gebildes zeichnen sich gewöhnlich durch grofses Volumen aus.

2. Knospen an dem verletzten Vegetationspunkte ohne tuberkelartige Zellanhäufung.

Die Ausbildung einer tuberkelartigen Zellanhäufung unterblieb, wenn ich den ganzen Vegetationskegel zum Absterben brachte. Die unterhalb des absterbenden Vegetationskegels befindlichen Zellen nahmen dann an Volumen zu und legten Knospen, Protonema und Zellflächen an (Fig. 41).

Fig. 41.



Oberer Teil eines Langtriebes von Sphagn. falcatum, dessen Vegetationskegel abgestorben ist. Die unter letzterem befindlichen Zellen sind im Begriff, zu vegetativen Organen auszuwachsen. Vergr. 260.

Die Ursache dieser beiden Arten von Knospenbildung ist jedenfalls in der Unterbrechung der Stoffwanderung zu suchen. Die in den Kurztrieben gebildeten Assimilate wandern zum Teil in den Vegetationskegel und ermöglichen dessen Wachstum, sowie die Neubildung von Organen. Wenn diesem fortwährenden Strome durch mechanische Eingriffe plötzlich Halt geboten wird, so staut er sich in den an die Wundstelle grenzenden Zellen und ermöglicht denselben, Knospen u. s. w. auszubilden.

3. Knospen des unverletzten Vegetationspunktes.

Endlich kann der Vegetationspunkt, ohne dafs er durch Verwundung veranlafst wird, zu einer jungen Pflanze auswachsen, indem sich die Zellen vermehren und eine etwas andere Gestalt annehmen (Fig. 42). Unterhalb der Stelle, wo die junge Pflanze inseriert, sind die Zellen des Mutterastes langgestreckt schmal; die Zellen der jungen Pflanze selbst sind kurz und dick.

In allen drei Fällen der Prolifikation wird die Grenze zwischen Mutterpflanze und Tochterorganismus dadurch deutlich markiert,

dafs meist die Zellen der unteren Internodien der jungen Pflanze bei ihrem weiteren Wachstum nur die halbe Länge, aber den doppelten Durchmesser erreichen. Zudem trägt diese Stelle bei den beiden ersten Arten der Prolifikation eine Rosette von Protonema und Zellflächen, die aus den Zellen des Vegetationspunktes oder aus den demselben benachbarten Zellen hervorgegangen sind (Fig. 7).

Bei der dritten Art der Prolifikation sind diese Bildungen spärlich und selten. Das auf diese Weise bei 1., 2. und 3. entstandene Protonema nannte Schimper die „Wurzeln“ der jungen

Fig. 42.

Fig. 43.

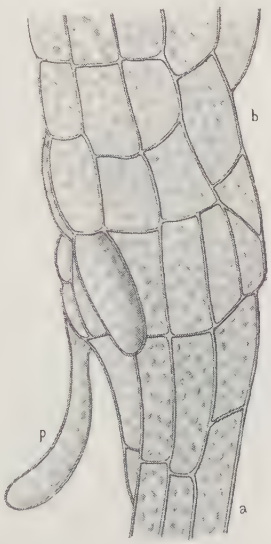


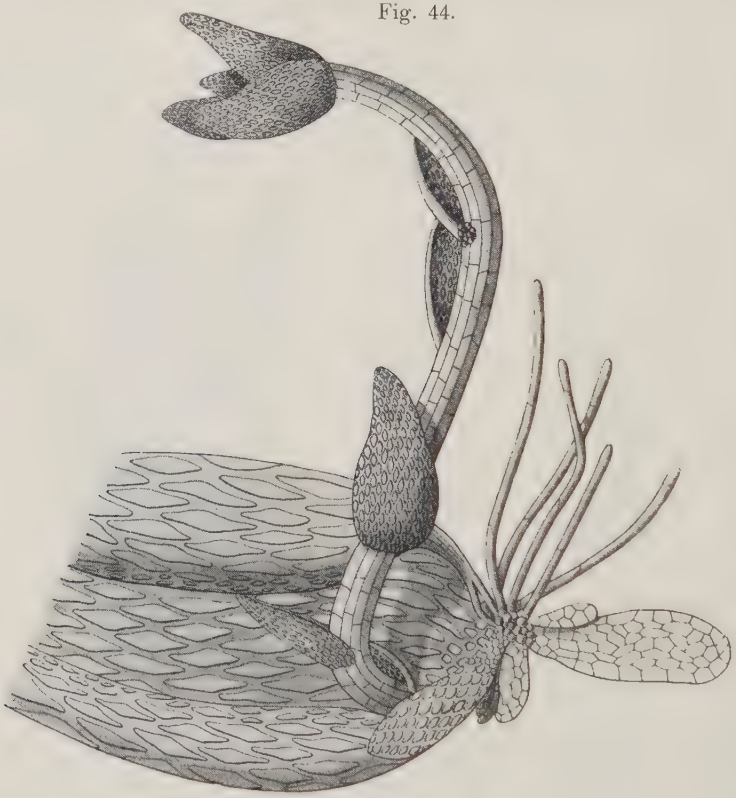
Fig. 42. Prolifikation eines Astes von Sphagn. rufescens. a = Ast, b = junge Pflanze, p = Protonema. Vergr. 43. — Fig. 43. Die durch verschiedene Zellform und Protonemaanlage kenntliche Übergangsstelle des Mutterastes zu der jungen Pflanze aus Fig. 42 bei 260facher Vergröfserung.

Pflanze; er beobachtete auch, dafs sich dieselbe später loslöst und als selbständiges Individuum weiterwächst. Allerdings hat Schimper die Prolifikation im ganzen nur selten beobachtet; unter günstigen Verhältnissen kommt sie jedoch sehr häufig vor.

Um die Bedingungen dieser Prolifikation herauszufinden, legte ich zweierlei Kulturen an; zuerst mit unverletzten Sphagnumpflanzen vier Kulturen, wovon zwei 0,2prozentige Nährlösung enthielten, und die beiden anderen destilliertes Wasser mit Spuren von Nährlösung.

Sodann brachte ich eine Anzahl von abgetrennten Langtrieben teils in Torfkulturen und teils in Nährlösungen. Alle diese Kulturen befanden sich in einem gegen Süden gelegenen Fenster, in welchem sie tagüber abwechselnd beschattet oder dem direkten Sonnenlichte ausgesetzt waren. In sämtlichen Kulturen zeigten fast

Fig. 44.



Blatt von Sphagn. rufescens mit junger Pflanze und Protonema, welche aus den Basalzellen des Blattes hervorgehen. Wegen Raummangel ist der obere Blattteil nicht gezeichnet. Vergr. 43.

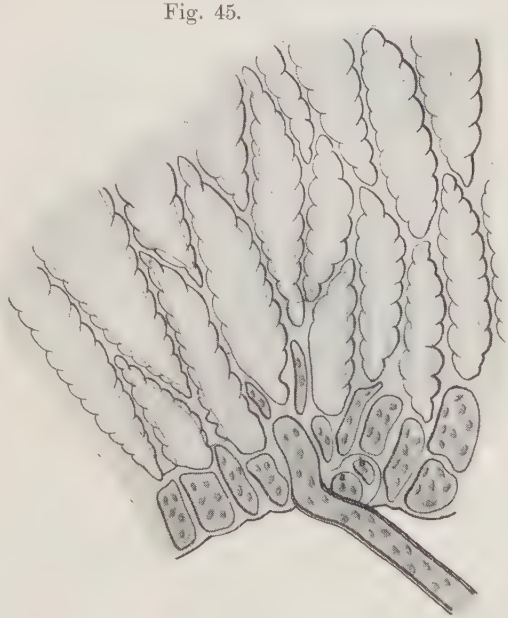
alle Pflanzen, sowohl an ihren Spitzen als auch an ihren Internodien, junge Sprosse. Dieselben waren dünn, wie sie Schimper beschrieben hat, im destillierten Wasser, normal und kräftig dagegen die, welche durch Nährlösungen ernährt worden waren. Ein Unterschied machte sich allerdings geltend: schon nach etwa einem Monate zeigten die abgetrennten Äste Prolifikation, während die unverletzten, noch mit der Mutterpflanze zusammenhängenden zur

Ausbildung derselben $1^1/_2$ bis 2 Monate brauchten. Durch die Verletzung, sowie durch konzentrierte Nährlösungen wird wohl die Prolifikation gefördert, aber nicht direkt veranlafst. Als specifischer Reiz mufs wohl die grofse Lichtintensität, verbunden mit der durch die Sonne erzeugten höheren Temperatur, angesehen werden. Sphagn. rufescens lieferte bei diesen Versuchen die besten Resultate, es zeigte schon nach einem Monat auswachsende Äste, Sphagn. mucronatum und Sphagn. falcatum erst nach $1^1/_2$ Monaten.

Knospen der Blätter.

An den Blättern konnte ich in meinen Kulturen nur aus den Basalzellen Knospen erzeugen. Hierbei wurde immer zuerst eine tuberkelartige Zellanhäufung gebildet, aus der dann die Knospe hervorging (Fig. 44). Wird eine solche Knospe vorsichtig von dem Blatte losgelöst, so zeigt sich in den meisten Fällen, dafs sowohl aus den benachbarten Basalzellen, als auch aus dem Fufse der Knospe zu gleicher Zeit Protonema und Zellflächen hervorgehen (Fig. 44 und 45).

Fig. 45.



Basaler Blattteil von Sphagn. rufescens mit Knospe, Zellfläche und Protonema. *a* = Zelle, aus der die Knospe (Fig. 46), und *b* = Zelle, aus der die Zellfläche entstand, welche nachher mit der Knospe verwuchs. Vergr. 260.

Knospen der Zellflächen.

An Zellflächen wurde die Knospenbildung zuerst von Hofmeister (1854) beobachtet und zwar an primären, den sogenannten Prothallien. Er hebt hervor, dafs die Knospen im allgemeinen an der Basis der Zellflächen entstehen. An den von mir beobachteten Zellflächen, Produkten vegetativer Vermehrung,

bildeten sich die Knospen nicht nur an der Basis oder den Randzellen der Zellflächen, sondern jede Zelle der Zellfläche war imstande, eine Knospe zu erzeugen. Schimper (1858), der den Vorgang beobachtete, sagt hierüber: „Bei den Erdprothallien sind es tuberkelartige Zellanhäufungen am Rande des Laubes, besonders nach dem Grunde hin, welche das erste Rudiment der jungen Pflanze bilden, und aus welchen, schon im ersten Anfange, seitlich sich Zellen

Fig. 46.

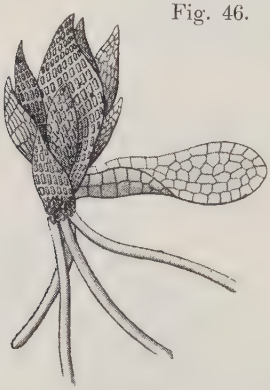


Fig. 47.

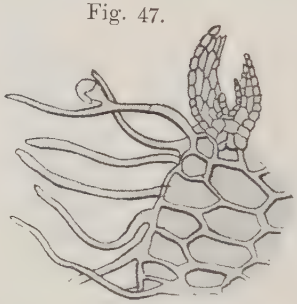


Fig. 48.

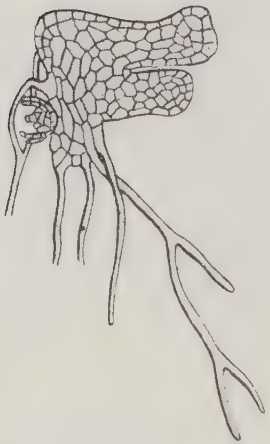


Fig. 49.

Fig. 46. Knospe, Zellfläche und Protonema von dem Blatte (Fig. 45) abgetrennt. Vergr. 43. — Fig. 47. Basalstück eines Erdprothalliums (nach Schimper) mit einer Knospe an der Basis. Vergr. 200. — Fig. 48. Prothallium (nach Hofmeister) mit Knospe aus einer basalen Randzelle. Vergr. 100. — Fig. 49. Junge Zellfläche von Sphagn. falcatum auf einer tuberkelartigen Zellanhäufung. Vergr. 260.

frei machen, um die ersten Blattanfänge darzustellen, und am unteren Ende, um sich zu Haarwürzelchen zu entwickeln, welche sich in die Erde einsenken (Fig. 47). Von diesem Augenblicke an schiefst das junge Pflänzchen schnell empor, sich teils auf Unkosten des Prothalliums ernährend, dessen Zellen ihren Inhalt verlieren und absterben, teils seine Nahrung vermittelst der neu gebildeten Würzelchen aus der Erde schöpfend."

In meinen Kulturen entstanden zwar an den Zellflächen zuerst auch einige tuberkelartige Zellanhäufungen, welche dann die Knospen trugen; aber es waren dies nur seltene Fälle gegenüber den Knospen, die direkt aus den Zellen gebildet wurden (Fig. 49).

Fig. 50.

Knospenanlage ohne tuberkelartigen Zellunterbau an einer alten Zellfläche, aus der sich schon eine junge Pflanze entwickelt hatte. Vergr. 260.

Das Absterben der Zellflächen nach der Bildung von jungen Pflänzchen, wie es Schimper beschrieben hat, konnte ich in meinen Kulturen nicht beobachten; sie konnten im Gegenteil noch mehr Pflänzchen erzeugen. Diese Fähigkeit behalten sie übrigens lange bei; wenn ich die jungen Pflänzchen von der Mutterfläche lostrennte, konnte letztere noch nach mehreren Monaten neue Pflänzchen erzeugen.

Auf die Bildung von Knospen an Zellflächen übte die Lichtintensität einen entscheidenden Einflufs aus; und zwar war hier nicht das intensive Licht für die Knospenanlage am günstigsten, sondern ein schwaches Licht. In solchem entstand eine grofse Zahl von Knospen, selbst noch 4 m vom Fenster entfernt zeigten sich Anlagen. Wurde aber das Licht noch mehr gedämpft, so gingen die Zellflächen rasch zu Grunde, ohne Knospen zu

bilden. Hierbei verhielten sich die drei von mir untersuchten Arten gleich.

Knospen des Protonemas.

Es ist bekannt, dafs die seitliche Anlage der Moosstämmchen am Protonema der Laubmoose als normale, die axiale als seltene Bildung betrachtet wird. Auch bei Sphagnum ist dies nach den vorliegenden Untersuchungen beim Sporenprotonema der Fall. Bei dem sekundären Protonema gilt jedoch gerade das umgekehrte; bei ihm ist die axiale Anlage der jungen Pflanze als die normale anzusehen. Hiermit soll jedoch nicht gesagt sein, dafs diese Knospenanlage eine gewöhnliche Erscheinung ist, im Gegenteil konnte ich sie nicht häufig beobachten. Es gelang mir erst solche zu erhalten, nachdem ich mittels der verschiedenen Kulturmethoden etwa zehn Monate hindurch viele vergebliche Versuche angestellt hatte. Ich erhielt schliefslich dadurch Knospen am Protonema der Äste und der Blätter, dafs ich die Kulturen aus dem hellen Lichte am Fenster in die vom Fenster entfernteste Ecke des Zimmers stellte. Dort war das Licht so schwach, dafs sich nicht einmal Zellflächen bilden konnten; das Wachstum des schon vorhandenen Protonemas wurde hier fast völlig gehemmt, dafür entwickelten sich an demselben Knospen. Man kann sich den Vorgang wohl folgendermafsen erklären. Während der Zeit (bei meinen Versuchen 18 Tage), da die Äste mit Protonema im hellen Lichte kultiviert wurden, hatten dieselben Gelegenheit, einen gewissen Vorrat von Nährstoffen anzuhäufen. Durch die plötzliche Abnahme des Lichtes wurde sowohl Assimilation als Wachstum gehemmt, oder doch sehr reduziert, wodurch die Zellen veranlafst wurden, ihre überflüssigen Vorräte zur Knospenanlage zu verwenden. Die von Klebs u. A. vertretene Ansicht, dafs jede Protonemazelle imstande sei, eine Moosknospe zu bilden, wird somit durch diese Versuche gestützt, vorausgesetzt, dafs das Protonema zuerst unter günstigen Nahrungsbedingungen im hellen Lichte kräftig gewachsen und dann in stark gedämpftes Licht gebracht worden ist. Bemerkenswert ist noch, dafs dieselben Versuche in noch schwächerem oder etwas hellerem Lichte ohne Erfolg waren.

Während einige Moose, z. B. Funaria (Klebs 1893), die Fähigkeit besitzen, im Dunkeln Knospen am Protonema zu bilden, ist für die Knospenbildung am Protonema von Sphagnum ein sehr schwaches Licht bedingend.

Knospen am Protonema der Aste.

Das sekundäre Protonema der Äste, welches Knospen trägt, hat nicht immer die für das primäre Protonema charakteristische Form; seine Zellen sind meist kürzer und voluminöser (Fig. 53, 54, 55). Die Art der Knospenbildung ist jedoch wieder völlig dieselbe, wie am primären Protonema. Aus einem wulst- oder

Fig. 51.

Fig. 52.

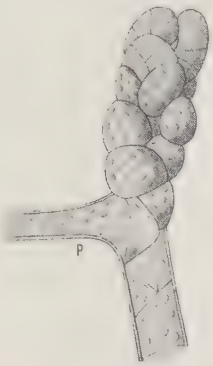


Fig. 55.

Fig. 54.

Fig. 53.

Fig. 51. Stück eines Protonemafadens von Sphagn. falcatum mit Knospenanlage. s = blafsgrüne Scheitelzelle. Vergr. 260. — Fig. 52. Protonema von Sphagn. rufescens mit Knospenanlage. p = neugebildeter Protonemafaden. Vergr. 260. — Fig. 53 und 54. Sphagnum mucronatum. Rückschlagsbildungen von Knospen am Astprotonema zu zellflächenartigen Gebilden. Protonema von Fig. 54 war beim Lichtwechsel gerade im Stadium der Blattbildung. b = Blattanlagen, die sich noch zu Zellflächen umwandeln, z = junge Zellfläche. Vergr. 260. — Fig. 55. Astprotonema mit Knospe von Sphagn. mucronatum, der nach 28tägiger Kultur in schwachem Lichte in ein helleres gebracht wurde. Hier war aber die Entwickelung der Knospe soweit vorgeschritten, dafs eine Rückschlagsbildung nicht mehr möglich war. z = junge Zellfläche. Vergr. 260.

turmartigen Unterbau entwickelt sich die junge Pflanze, indem sich einige Zellen am oberen Teile desselben etwas lockern und die ersten Blattanlagen der jungen Pflanze vorstellen; letztere wächst dann rasch heran (Fig. 51, 52, 55).

Die Knospenbildung hängt also nicht direkt von einer guten Ernährung der Zellen ab, sondern wird durch chemische Prozesse bedingt, die allerdings vorher durch ein Licht von ganz bestimmter Intensität hervorgerufen werden. Ein Licht von bestimmter Intensität bewirkt auch Bildungen von Zellflächen, an denen sich dann Knospen entwickeln.

Wenn solche Knospenanlagen am Protonema wieder hellerem Lichte ausgesetzt werden, so entwickeln sich aus ihnen keine jungen Pflanzen. Die Knospen haben die Fähigkeit, direkt zu jungen Pflanzen auszuwachsen, verloren; ein Teil ihrer Zellen wächst zu Protonema, ein anderer zu Zellflächen aus. Dieses ist aber nicht mehr möglich, sobald sich an der Knospe ein Blatt entwickelt hat; in einem solchen Falle entwickelt sich aus der Knospe eine junge Pflanze (Fig. 53, 54, 55).

Wir haben es hier also mit einer Rückschlagsbildung zu thun. Dieselbe wird beim Sphagnumprotonema durch den Übergang der in sehr schwachem Lichte gebildeten Knospenanlage in ein helleres Licht hervorgerufen, während bei anderen Moosen, z. B. nach Goebel am Funariaprotonema, der umgekehrte Wechsel des Lichtes stattfinden mufs, um die gleichen Rückbildungen der Knospen zu erzielen.

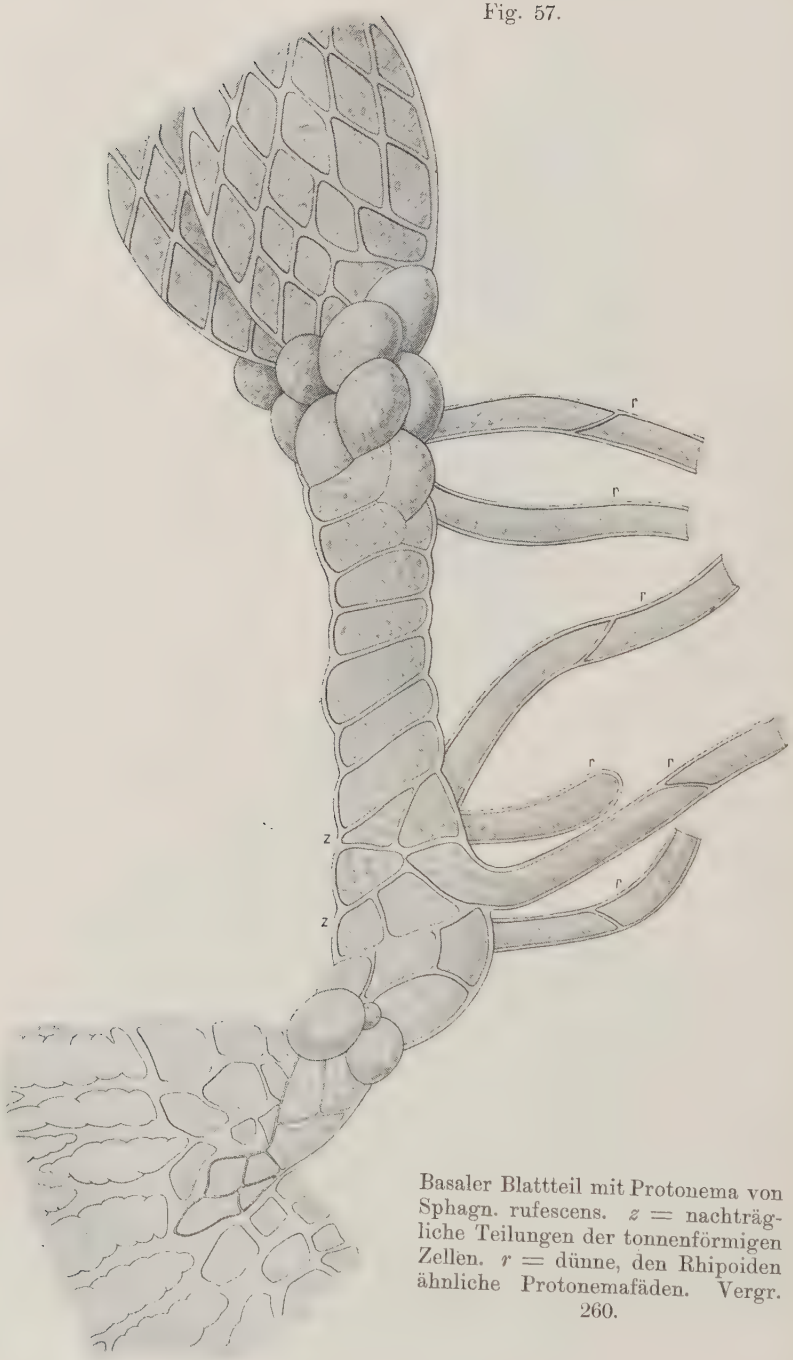
Knospen am Protonema der Blätter.

Durch dieselben äufseren Bedingungen, wie beim Protonema der Äste, konnte ich am Protonema der Blätter Knospenbildung hervorrufen. In gleicher Weise wie die Zellen der die Knospen tragenden Protonemafäden der Äste nehmen häufig auch die Zellen des Blattprotonemas eine ausgesprochene kurze, tonnenförmige Gestalt an, wodurch der Durchmesser eines solchen Fadens sich ungefähr verdoppelt (Fig. 56 und 57). Zum Unterschied von den Zellen des Astprotonemas zeichneten sich die des Blattprotonemas durch starke Membranverdickung aus, und es traten auch in diesen tonnenförmigen Zellen aufser den normalen Querwänden häufig schief verlaufende Teilungen auf, was bei dem Astprotonema nicht der Fall war (Fig. 57).

Fig. 56.

Basaler Teil eines abgetrennten Astblattes von Sphagn. mucronatum. Das Protonema ist durch Einwirkung sehr schwachen Lichtes erhalten worden und aus tonnenförmigen Zellen zusammengesetzt. *z* = nachträglich entstandene Zellteilungen. Vergr. 260.

Fig. 57.



Basaler Blattteil mit Protonema von Sphagn. rufescens. *z* = nachträgliche Teilungen der tonnenförmigen Zellen. *r* = dünne, den Rhipoiden ähnliche Protonemafäden. Vergr. 260.

Solche Zellteilungen gehen aber beim sek. Sphagnum protonema nicht so, wie Schostakowitsch am Vorkeime von Preissia commutata feststellte, nämlich in der Protonema-Scheitelzelle vor sich, sondern bei den oben angeführten Kulturbedingungen in beliebigen Fadenzellen. Diese Umbildungen, die hier noch stärker als bei dem Protonema der Äste hervortreten, veranlassen mich, dieses Protonema als Mittelform zwischen Zellflächen und typischem Sphagnum protonema anzusehen. Der Ausdruck „einreihige Zellfläche“ wäre wohl hierfür am treffendsten.

Wie am Protonema der Aste, so entspringt auch hier die Knospe stets einer wulst- und turmartigen Zellanhäufung am Ende des Fadens (Fig. 56, 57). Wird ein solches Protonema auf Torf kultiviert, so entspringen den tonnenförmigen Zellen viel dünnere, in das Substrat eindringende Fäden, gewissermafsen Rhizoiden des Protonemas (Fig. 57).

Für diese Versuche eigneten sich die Astblätter von Sphagn. rufescens am besten, während Sphagn. mucronatum und falcatum längere Zeit zur Knospenbildung brauchten oder zum gröfsten Teile vorher zu Grunde gingen.

Zusammenfassung.

1. Bei manchen Laubmoosen kann fast eine jede Zelle zur vegetativen Fortpflanzung beitragen; bei Sphagnum ist aber diese Eigenschaft nur auf bestimmte Teile beschränkt. Dennoch steht es den übrigen Laubmoosen an Ausgiebigkeit der vegetativen Vermehrung nicht nach. Die Zellpartieen, aus welchen die vegetativen Organe hervorgehen, zeigen bei Sphagnum keine Polarität, während eine solche bei anderen Moosen, z. B. bei den Marchantiaceen, festgestellt ist.
2. Jede specielle Art der vegetativen Fortpflanzung ist gewöhnlich durch eine bestimmte Lichtintensität bedingt, während eine gute oder schlechte sonstige Ernährung nur fördernd oder hemmend sein kann. Eine bestimmte Lichtintensität ruft unter sonst gleichen Bedingungen an gleichen Sphagnumteilen dieselbe Art der Vermehrung, an verschiedenen Teilen aber nicht immer verschiedene, sondern auch gleiche hervor. Bei einer gleichen Lichtintensität verhalten sich nicht nur die einzelnen Arten und Varietäten der Sphagnaceen verschieden, sondern auch verschiedene Teile derselben Pflanze.

Es gedeiht die ausgewachsene Sphagnumpflanze am besten im hellen Lichte, das Protonema braucht zu seiner Anlage und Entwickelung schwaches Licht, für die Zellflächenanlage ist eine noch schwächere Beleuchtung günstig, und die Knospen (wenigstens die des Protonemas) bilden sich in einem sehr schwachen Lichte.

3. Die Zusammenstellung aller Resultate dieser Arbeit zeigt, wie fürsorglich die Natur auch bei Sphagnum so mannigfaltige, den äufseren Einflüssen sich anpassende Vorkehrungen zur Erhaltung der Art getroffen hat. Denn stirbt der untere Teil einer jungen oder älteren Sphagnumpflanze nebst ihrem Protonema ab, so kann die Pflanze trotzdem fortleben. Wird die junge Pflanze aber bis zum Köpfchen hinauf verletzt, so kann sie noch einmal Protonema bilden und so die Pflanze als solche noch erhalten. Wird das Köpfchen aber auch zerstört, so besitzt jeder einzelne Ast desselben vermöge seines Bildungsgewebes die Fähigkeit, sich durch Protonema, Zellflächen oder Adventivknospen vegetativ fortzupflanzen. Die älteren Teile der Pflanze können nur durch Anlagen von Adventivknospen das Individuum erhalten. Aufser den Adventivknospen können auch sowohl Protonema als Zellflächen die Träger junger Pflanzen sein. Diese auf die verschiedenartigste Weise vor sich gehende Vermehrung, verbunden mit einem unbegrenzten Spitzenwachstum, verleiht den Sphagnaceen eine erstaunliche Lebenszähigkeit und eine nahezu durch nichts zu hemmende Vermehrungsfähigkeit.

Einflufs der Verbindungen des Kalkes und anderer Salze auf Sphagnum.

Die Sphagnaceen bilden den charakteristischen Bestandteil der Vegetation der Hochmoore, die sich meistens auf einem kalkarmen Untergrunde vorfinden. Zuweilen treten solche Moore aber auch in Gegenden auf, deren Untergrund ausschliefslich aus kohlensaurem Kalk besteht. In diesen Fällen wird die Existenz eines solchen Moores nur dadurch ermöglicht, dafs eine für Wasser undurchlässige Thonschicht (die z. B. im Jura glacialen Ursprungs ist) die Vegetation von dem Kalk vollständig abschliefst und aus ihren Bestandteilen die den Pflanzen nötigen Nährsalze liefert (Alkalien, Eisen, phosphor- und schwefelsaure Salze, Silikate etc.).

Diese allgemeinen biologischen Verhältnisse sind seit längerer Zeit bekannt. Genauere Untersuchungen über den Grad der Schädlichkeit von gewissen anorganischen Verbindungen, speciell des kohlensauren Kalkes, fehlen aber in der botanischen Litteratur fast vollständig. Die Werke von Contejean, Fliche et Grandeau und Warming enthalten nur wenige einschlägige Aufzeichnungen. Lequereux (1847) berichtet über umfassendere Beobachtungen über das Vorkommen von Sphagnum auf verschiedenen Substraten. Seine Angaben sind aber ungenau, auch häufig widersprechend. Sendtner (1854) berichtet, dafs einige Arten von Sphagnum z. B. Sphagn. cuspidatum, subsecundum u. a., sich in der Mitte der Hochmoore befinden, während andere Arten ihre Standorte mehr an den Rändern der Moore nehmen, z. B. Sphagn. acutifolium, squarrosum u. a.

Wenn die Angaben Sendtners auch nur sehr allgemein gehalten sind, so legen sie doch die Annahme nahe, dafs nicht alle Sphagnumarten gegen schädliche Stoffe gleich empfindlich seien, sondern dafs die kräftiger gebauten denselben gröfseren Widerstand zu bieten vermögen. Um dies festzustellen, machte ich mit

den drei im ersten Teile der Arbeit behandelten Sphagnumarten Versuche über den Grad der Schädlichkeit verschiedener Salze in verschiedener Konzentration. Mein Hauptaugenmerk richtete sich hierbei auf die Wirkung der Calciumverbindungen.

Der kohlensaure Kalk ($CaCO_3$) wirkt nach Warming auf Sphagnum sehr schädlich ein; dieses Moos kann nach seinen Angaben höchstens 0,05 bis 0,06 proz. Lösungen ertragen. In meinen Kulturen, wobei ich kohlensauren Kalk in destilliertem Wasser ohne Zusatz anderer Nährsalze löste, starben in 0,05 proz. Lösung Teile von Sphagnum je nach der Species nach 22 bis 32 Tagen ab, ohne Protonema oder Adventivknospen gebildet zu haben. In 0,1 Proz. $CaCO_3$ geht Sphagnum nach 17 bis 28 Tagen und in 0,15 Proz. $CaCO_3$ in 14 bis 24 Tagen zu Grunde (Tab. VII).

Der schwefelsaure Kalk ($CaSO_4$) ist für das Wachstum von Sphagnum schon weniger nachteilig. In 0,05 proz. Gipswasser proliferieren die Äste noch; es können sich auch darin noch Adventivknospen bilden. Wenn dieselben zu jungen Pflanzen auswachsen, so tritt an ihnen verkümmertes Protonema auf; es gelang mir jedoch nur selten, am Bildungsgewebe von abgetrennten Ästen solcher Pflanzen Protonema zu erzeugen. In 0,1 proz. Lösung von $CaSO_4$ findet nicht mehr häufig Prolifikation der Äste statt; auch treten die Adventivknospen nur noch selten auf und besitzen dann entweder keine oder nur wenige kurze verkümmerte Protonemafäden. Die Pflanzen in diesem 0,1 proz. Gipswasser sterben je nach der Species innerhalb 23 bis 45 Tagen ab (Tabelle VIII).

Noch weniger schädlich als der schwefelsaure Kalk wirkt der salpetersaure Kalk [$Ca(NO_3)_2$]. In Kulturen in 0,05 proz. $Ca(NO_3)_2$ zeigen sich Adventivknospen und häufig verkümmertes Protonema. Solches ist nicht selten noch in 0,1 proz. $Ca(NO_3)_2$ zu beobachten. Bei höherer Konzentration, z. B. 0,75 proz., bildet sich kein Protonema mehr; auch die Anlage von Adventivknospen sieht man nur selten. Die Mutteräste sterben je nach der Art nach 20 bis 60 Tagen ab (Tabelle VII, X).

Aus den Versuchen mit $CaCO_3$, $CaSO_4$ und $Ca(NO_3)_2$ geht hervor, dafs nicht das Element Calcium in jeder seiner Verbindungen für Sphagnum in so hohem Grade schädlich ist, sondern nur in seiner schwefelsauren und salpetersauren, hauptsächlich aber in seinen kohlensauren Verbindungen.

Während alle kalkhaltigen Nährlösungen, auch die Knopsche, auf das Wachstum von Sphagnum mehr oder weniger nachteilig

Tabelle VII.

	Kohlensaurer Kalk		Salpetersaurer Kalk										
	Abgetrennte Äste		0,05 Proz.			0,1 Proz.			0,75 Proz.		mit 0,2 Proz. kalkfreier Nährlösung[1]) und noch dazu 0,05 Proc. $Ca(NO_3)_2$, 0,1 Proz. $Ca(NO_3)_2$, 0,15 Proz. $Ca(NO_3)_2$		
	in 0,05 Proz. abgestorben nach	in 0,1 Proz. ohne Protonema- oder Knospen-Bildg. abgestorben nach	Protonemabildung der Äste nach	Absterben des Protonema nach	Absterben der Äste nach	Protonemabildung der Äste nach	Absterben des Protonema nach	Absterben der Äste nach	Protonemabildung der Äste	Absterben der Äste nach	Protonemabildung der Äste nach	Protonemabildung der Äste nach	Protonemabildung der Äste nach
Sphagnum falcatum	22 bis 24 Tagen	17 bis 20 Tagen	10 bis15 Tagen	13 bis15 Tagen	ca. $3^1/_2$ Monaten	14 bis 16 Tagen	10 bis 12 Tagen	ca. 2 Monaten	Kein Protonema; wenig Adventivknospen u. diese ohne Protonema	20 bis22 Tagen	9 bis 11 Tagen	11 bis 13 Tagen	18 bis 20 Tagen
Sphagn. mucronatum	24 bis 26 Tagen	18 bis 22 Tagen	10 bis12 Tagen	13 bis15 Tagen	ca. $3^1/_2$ Monaten	12 bis 14 Tagen	10 bis 13 Tagen	ca. 3 Monaten	dasselbe	25 bis27 Tagen	7 bis 9 Tagen	10 bis 12 Tagen	17 bis 19 Tagen
Sphagn. rufescens	30 bis 32 Tagen	23 bis 28 Tagen	15 bis18 Tagen	13 bis15 Tagen	ca. 4 Monaten	18 bis 20 Tagen	10 bis 12 Tagen	ca. $3^1/_2$ Monaten	dasselbe	50 bis60 Tagen	8 bis 10 Tagen	11 bis 13 Tagen	19 bis 21 Tagen

[1]) Nährlösung S. 62.

wirkten, erzielte ich mit einer Lösung folgender Zusammensetzung sehr günstige Resultate:

1 Tl. schwefelsaure Magnesia,
2 Tle. saures phosphorsaures Natrium,
2 „ salpetersaures Kalium.

Von dieser Zusammensetzung war eine 0,2 proz. Lösung für die Protonemabildung am günstigsten. Es bildete sich an Ästen, die an der Zone des Bildungsgewebes abgetrennt waren, schon nach drei Tagen Protonema. Alle anderen Konzentrationen, höhere und niedere, sind für die Protonemabildung weniger günstig; bei 0,75 Proz. hört dieselbe auf. Für die Ausbildung der Zellflächen ist eine 0,3- bis 0,4 proz. kalkfreie Nährlösung am günstigsten. Die Bildung von Protonema, Zellflächen oder Adventivknospen tritt in einer Nährlösung der vorhin angeführten Zusammensetzung je nach der Species bis zu einer Konzentration von 0,75 Proz., resp. 0,9 Proz. auf (Tabelle X); in noch konzentrierteren Lösungen sterben aber die Pflanzen bald ab, ohne vegetative Anlagen auszubilden. In 1,5 proz. Nährlösung gehen z. B. die Teile von Sphagnum falcatum nach ca. einem Monat zu Grunde (Tabelle X).

Die schädliche Wirkung der Kalksalze tritt nicht nur dann hervor, wenn sie allein in destilliertem Wasser gelöst sind, sondern auch dann, nur in geringerem Mafse, wenn noch andere Nährsalze zugegen sind. In 0,2 proz. kalkfreier Nährlösung mit 0,05 Proz. $CaSO_4$ tritt Protonema- und Knospenbildung noch relativ kurze Zeit auf; die abgetrennten Äste proliferieren häufig, und abgetrenntes Protonema kann darin Zellflächen bilden. Wenn auch Protonema und Zellflächen in dieser kalkhaltigen Nährlösung kein so üppiges Aussehen erlangen als in kalkfreier, so ist doch das Verhalten der Sphagnumteile in diesen beiden Nährlösungen ziemlich ähnlich (Tabelle VIII). In 0,2 proz. Nährlösung mit 0,1 Proz. $CaSO_4$ erscheinen Protonema und Adventivknospen nur noch selten; ersteres bleibt rudimentär und verkümmert; es krümmt sich hin und her, ein Faden umschlingt den anderen, und die sich verdickenden Membranen nehmen häufig bräunliche Färbung an (Tabelle VIII).

Da der salpetersaure Kalk für sich allein dem Wachstume von Sphagnum weniger schädlich ist als Gips, so schadet er in Verbindung mit kalkfreier Nährlösung dementsprechend weniger. In 0,2 proz. kalkfreier Nährlösung mit 0,05 Proc. $Ca(NO_3)_2$ zeigen

Tabelle VIII.

	Schwefelsaurer Kalk in verschiedener Koncentration										Regenwasser		Rohrzucker
	0,05 Proz.		0,1 Proz.		mit 0,2 Proz. kalkfreier Nährlösung [1])								
					0,05 Proz.		0,1 Proz.		0,75 Proz.				
	Absterben der Äste nach		Absterben der Äste nach		Protonemabildung der Äste nach		Protonemabildung der Äste nach		Protonemabildung der Äste	Absterben der Äste nach	Protonemabildung der Äste	Absterben der Äste nach	Protonemabildung der Äste nach
Sphagnum falcatum	29 bis 32 Tagen	Protonema selten. Prolifikation der Äste	23 bis 25 Tagen	Öftere Prolifikation der Äste. Adventivknospe selten mit Protonema	13 bis 51 Tagen	Prolifikation der Äste. Knospen mit Protonema. Am abgetrennten Protonema Zellflächen	24 bis 27 Tagen	Verkümmertes Protonema mit braun gefärbten Membranen	Sehr langsame Prolifikation der Äste. Kein Protonema	52 bis 56 Tagen	Protonema und Adventivknospen selten	28 bis 32 Tagen	12 bis 15 Tagen
Sphagn. mucronatum	34 bis 37 Tagen	dasselbe	29 bis 31 Tagen	dasselbe	10 bis 12 Tagen	dasselbe	20 bis 25 Tagen	dasselbe	dasselbe	90 bis 100 Tagen	dasselbe	42 bis 46 Tagen	9 bis 12 Tagen
Sphagn. rufescens	49 bis 53 Tagen	dasselbe	38 bis 45 Tagen	dasselbe	14 bis 17 Tagen	dasselbe	26 bis 30 Tagen	dasselbe	dasselbe	110 bis 125 Tagen	dasselbe	90 bis 105 Tagen	16 bis 20 Tagen

[1]) Nährlösung S. 62.

sich schon nach acht Tagen Protonema und Knospen. Dieselbe Wirkung hat eine Nährlösung von 0,2 Proz. mit 0,10 Proz. $Ca(NO_3)_2$ nach 12 Tagen und eine 0,2proz. Nährlösung mit 0,15 Proz. $Ca(NO_3)_2$ nach 18 Tagen. Bei 0,05 Proz. $Ca(NO_3)_2$ in 0,2proz. Nährlösung braucht das Protonema nur einige Tage mehr als in 0,2proz. kalkfreier Nährlösung; die schädliche Wirkung des Kalkes ist hier also sehr schwach. Die weitere Entwickelung des Protonema und der Knospen ist in Nährlösungen mit und ohne $Ca(NO_3)_2$ dieselbe.

Die Knopsche Nährlösung lieferte ähnliche Resultate, wie 0,2proz. kalkfreie Lösung mit Zusatz von 0,05 Proz. $Ca(NO_3)_2$. Die Knopsche Lösung bereitete ich nach folgender Vorschrift:

4 Tle. salpetersaurer Kalk,
1 Tl. schwefelsaure Magnesia,
1 „ phosphorsaures Kali,
1 „ salpetersaures Kali.

In 0,2proz. Lösung obiger Salzmischung zeigte sich schon nach vier bis sechs Tagen Protonema. In 1,5proz. Lösung erhielt ich weder Protonema, noch Zellflächen, noch Knospen; die Äste gingen nach 52 bis 80 Tagen zu Grunde (Tabelle IX).

Die Kulturen in kalkfreier Nährlösung mit kohlensaurem Kalk lieferten keine sicheren Resultate, da schwefel- und phosphorsaurer Kalk, sowie kohlensaure Magnesia hierbei ausfielen. Destilliertes Wasser übte ungefähr die gleiche Wirkung aus wie 0,2proz. kalkfreie Nährlösung (Tabelle X). Das Protonema erschien hier nur ein bis drei Tage später; im übrigen waren Entwickelung und Wachstum von Protonema, Zellflächen und Adventivknospen dieselben, so lange einige abgestorbene Äste den übrigen hinreichende Nahrung lieferten. Wurden in solche Kulturen nur wenige Äste gebracht (ich spreche hiermit im allgemeinen von abgetrennten Ästen), so starben diese aus Nahrungsmangel nach $2^1/_2$ bis 3 Monaten ab. Wenn, was selten vorkommt, in Regenwasserkulturen Protonema gebildet wird, so stirbt es schon nach 14 Tagen ab. Nach $1^1/_2$ bis 3 Monaten gingen alle diese Kulturen, in denen sich noch vereinzelte Adventivknospen gezeigt hatten, zu Grunde (Tab. VIII).

Im Leitungswasser von Basel, das sehr kalkreich ist, etwas Gips und Spuren von Ammonverbindungen enthält, starben Sphagnumteile nach 30 bis 55 Tagen ab, ohne Protonema, Zellflächen oder Knospen gebildet, oder proliferiert zu haben (Tab. X).

Tabelle IX.

	Knops Nährlösung						Salpetersaures Kalium				Chlorcalcium			
	0,2 Proz.		0,75 Proz.		1,5 Proz.		0,05 Proz.		0,3 Proz.		0,05 Proz.		0,1 Proz.	
	Protonemabildung der Äste nach	Abgetrenntes Protonema bildet	Protonemabildung der Äste nach	Abgetrennte Äste bilden	Protonemabildung der Äste	Absterben der Äste nach	Protonemabildung der Äste nach		Protonemabildung der Äste	Absterben der Äste nach	Absterben der Äste nach	mit 0,3 Proz. Nährlösung [1]). Absterben der Äste nach	Absterben der Äste nach	mit 0,3 Proz. Nährlösung [1]). Absterben der Äste nach
Sphagnum falcatum	5 Tagen	Zellflächen	7 Tagen	wenig Protonema und Adventivknospen	Kein Protonema, keine Zellflächen und keine Adventivknospen	52 Tagen	7 Tagen	Keine Prolifikation, keine Adventivknospen	Kein Protonema, keine Prolifikation, keine Adventivknospen	23 Tagen	22 Tagen. Kein Protonema	80 Tagen. Kein Protonema	15 Tagen. Kein Protonema	50 Tagen. Kein Protonema
Spagn. mucronatum	4 Tagen	Zellflächen	6 Tagen	dasselbe	dasselbe	60 Tagen	6 Tagen	dasselbe	dasselbe	34 Tagen	30 Tagen. Kein Protonema	105 Tagen. Protonema spärlich. Prolifikation selten	25 Tagen	85 Tagen. Protonema selten
Sphagnum rufescens	6 Tagen	Zellflächen	8 Tagen	dasselbe	dasselbe	80 Tagen	11 Tagen	dasselbe	dasselbe	38 Tagen	40 Tagen. Kein Protonema	140 Tagen. Protonema selten	32 Tagen	105 Tagen. Kein Protonema. Prolifikation der Äste

[1]) Nährlösung S. 62.

Tabelle X.

	0,75 Proz. salpetersaurer Kalk in		0,3 Proz. salpetersaurer Kalk in		0,1 Proz. salpetersaurer Kalk in				Leitungswasser	Kalkfreie Nährlösung (S. 62.)					Destilliert. Wasser	
	Leitungswasser. Absterben der Äste nach	destilliertem Wasser. Absterben der Äste nach	Leitungswasser. Absterben der Äste nach	destilliertem Wasser. Absterben der Äste nach	Leitungswasser. Absterben der Äste nach	destilliertem Wasser			Absterben der Äste nach	0,2 Proz. Protonemabildung der Äste nach	Konzentrationsgrenze für Protonemabldg. der Äste	1,5 Proz. Absterben der Äste nach	Höhere Konzentration		Prolifikation der Äste und Protonemabildung nach	Absterben der Äste nach
						Protonemabildung der Äste nach	Absterben des Protonemas nach einem Alter von	Absterben der Mutteräste nach					2 Proz. Absterben der Äste nach	2,5 Proz. Absterben der Äste nach		
Sphagnum falcatum	15 Tagen	21 Tagen	19 Tagen	50 Tagen	28 Tagen	14—16 Tagen	10—12 Tagen	ca. 75 Tagen	30 Tagen	4 Tagen	0,75 Proz.	28—30 Tagen	28—30 Tagen	26—30 Tagen	7 Tagen	70 Tagen
Sphagnum mucronatum	21 Tagen	25 Tagen	34 Tagen	55 Tagen	35 Tagen	12—14 Tagen	10—13 Tagen	ca. 90 Tagen	45 Tagen	2 Tagen	0,9 Proz.	34—36 Tagen	32—35 Tagen	28—32 Tagen	4 Tagen	75 Tagen
Sphagnum rufescens	34 Tagen	55 Tagen	48 Tagen	80 Tagen. Prolifikation und Adventivknospen	48 Tagen	18—20 Tagen	10—12 Tagen	ca. 110 Tagen	50 Tagen	3 Tagen	0,9 Proz.	38—42 Tagen	36—40 Tagen	32—37 Tagen	6 Tagen	90 Tagen

Diese schädliche Wirkung hat ihren Grund in dem hohen Gehalt an kohlensaurem Kalk (ca. 0,025 Proz.).

Tabelle X veranschaulicht die Ergebnisse einer Reihe von Versuchen, die mit Leitungswasser und destilliertem Wasser ausgeführt wurden; je zwei dieser Kulturen beschickte ich mit einer gleichen Menge von $Ca(NO_3)_2$. Aus diesen Versuchen geht die grofse Schädlichkeit des $CaCO_3$ enthaltenden Leitungswassers hervor; letzteres wirkt mit nur 0,3 Proz. $Ca(NO_3)_2$ z. B. gleich wie destilliertes Wasser mit 0,75 Proz. $Ca(NO_3)_2$.

Zusammenfassung.

Die Untersuchungen über den Einflufs der Kalksalze auf die Sphagnaceen zeigen, dafs die verschiedenen Verbindungen von Calcium auf das Wachstum sehr verschieden einwirken. Am schädlichsten ist der kohlensaure Kalk. Die verschiedenen Sphagnumspecies sind gegen die Kalksalze in verschiedenem Mafse empfindlich. Von den drei untersuchten Arten ist Sphagnum rufescens am widerstandsfähigsten, in geringerem Mafse Sphagnum mucronatum und am empfindlichsten Sphagnum falcatum.

Litteratur-Verzeichnis.

v. Briedel, E.: Muscologia recentiorum 1797.
v. Briedel, E.: Bryologia universa 1826.
Contejean, Ch.: L'Influence du terrain sur la Vegetation. Paris 1875.
Contejean, Ch.: Géographie botanique 1881.
Dillenius, J. H. B.: Historia muscorum. Londini 1741.
Dogy: Pijdrage tot de anatomie enphytographie van de Sphagna. Amsterdam 1854.
Ehrhard: Plant. crypt. Linnaei exsiccat. Hannover 1785.
Fliche et Grandeau: Recherches chimiques sur la composition des feuilles. 1876.
Fürnrohr: Versuch einer Lebens- und Formgeschichte der Gattung Sphagnum. Regensburg 1833.
Goebel, K.: Grundzüge der Systematik und speciellen Pflanzenmorphologie. Leipzig 1882.
Goebel, K.: Die Muscineen. Schenks Handbuch II. 1882.
Goebel, K.: Jugendzustände von Pflanzen. München 1889.
Goebel, K.: Morphologie und biologische Studien (Annales du jardin bot. d. Buitenzorg) 1893.
Goebel, K.: Jugendformen von Pflanzen und deren künstliche Wiederhervorrufung. München 1897.
Hedwig: Fundament histor. natur. Muscor. I. 1782.
Hegetschweiler, J.: Revision des Genus Sphagnum. Zürich 1829.
Hofmeister, W.: Über Keimung des Sphagnum acutifolium (Bericht d. K. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, mathem.-physik. Klasse). 1854.
Klebs, G.: Über den Einfluſs des Lichtes auf die Fortpflanzung der Gewächse. Biolog. Centralblatt 1893.
Linnaeus: Species Plantarum. Holoniae 1753.
Lequereux: Untersuchungen über die Torfmoose. Berlin 1847.
Limpricht, K. G.: Die Laubmoose (Rabenhorsts Kryptogamenflora). Leipzig 1890.
Meyen: Über die neuesten Fortschritte der Anatomie und Physiologie der Gewächse. Harlem 1836.
Meyen: System der Pflanzenphysiologie. 1839.
Mohl, Hugo: Über den Bau des Cycadeenstammes 1832.
Mohl, Hugo: Anatomische Untersuchungen über die porösen Zellen von Sphagnum 1854.
Moldenhawer: Beiträge zur Anatomie der Pflanzen. 1812.
Müller, C.: Synopsis muscorum frondosorum. 1846.
Müller, H.: Sporenvorkeime und Zweigvorkeime. 1874.
Naegeli, C.: Wachstumsgeschichte der Laub- und Lebermoose (Zeitschrift für wissenschaftl. Botanik von Schleiden und Naegeli, Heft II). 1845.
Nees v. Esenbeck, C. G.: Bryologia germanica. 1822.

Palisot de Bouvois: Muscologie ou Traité sur les mousses dans les Mémoires de la Société Linéenne. Paris 1822.
Pringsheim, N.: Sprossung der Moosfrüchte 1878.
Schacht, H.: Die Pflanzenzelle 1852.
Schimper, W. Ph.: Recherches anatomiques et morphologiques sur les mousses. Strassbourg 1848.
Schimper, W. Ph.: Entwickelungsgeschichte der Torfmoose. Stuttgart 1858.
Schleiden: Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik, 3. Aufl. 1842 bis 1849.
Schostakowitsch, W.: Reproduktions- und Regenerationserscheinungen bei den Lebermoosen. Flora 1894.
Schwaegrichen, Fr.: Supplement zu Hedwigs Species Muscorum. Leipzig 1828.
Sendtner, O.: Vegetationsverhältnisse Südbayerns. München 1854.
Sullivant, W. S.: Muscì and Hepaticae of the United States. 1846.
Thured: Recherches sur les Zoospores des Algues et les Anthéridées des Cryptogames. Paris 1851.
Unger: Über die Antheridien von Sphagnum. Allgem. botan. Zeitg. 1834.
Vöchting: Über die Regeneration der Marchantieen. 1884. (Pringsheims Jahrb. 1885.)
Warming, E.: Ökologische Pflanzengeographie. 1896.
Warnstorf, C.: Europäische Torfmoose. 1881.
de Wildemann, J.: Études sur l'attuche de choisons cellulaires. 1893.
Wilson, W.: Bryologia britannica. 1855.

Curriculum vitae.

Geboren am 2. Dezember 1867 zu Adersheim (Kreis Wolfenbüttel), besuchte ich die Elementarschule zu Wolfenbüttel, das dortige Herzogl. Gymnasium, die Günthersche Lehranstalt zu Braunschweig und das Realgymnasium daselbst.

In der Hofapotheke zu Braunschweig verbrachte ich als Pharmaceut zwei Jahre meiner Lehrzeit, und vollendete sie in der Apotheke zu Bad Sachsa (Thüringen). Nachdem ich das pharm. Gehülfenexamen in Erfurt bestanden hatte, erstreckte sich meine dreijährige Konditionszeit als Apothekergehülfe auf Bad Sachsa, Bouxviller (Elsafs), Wolfenbüttel, Basel, Biel (franz. Schweiz) und Braunschweig.

Meiner Militärpflicht genügte ich als Einjährig-Freiwilliger in der 5. Batterie des Feld-Artillerie Regiments von Scharnhorst, I. Hannoversches Nr. 10, zu Wolfenbüttel. Die erste Übung leistete ich als Reserve-Unteroffizier in Hannover ab.

Im Sommersemester 1894 und Wintersemester 1895 besuchte ich als stud. pharm. die Herzogl. techn. Hochschule Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig und das Sommersemester 1895 hindurch die Kgl. bayer. Friedr. Alexander-Universität Erlangen, worauf ich daselbst das pharm. Staatsexamen ablegte und bestand.

Um weiter mich mit botanischen Studien zu beschäftigen, ging ich im Sommersemester 1896 nach Basel, woselbst ich im Botanischen Institut der dortigen Universität vorliegende Arbeit während der Jahre 1896 und 1897 anfertigte.

Im Laufe meiner Hochschulstudien genafs ich den Unterricht folgender Herren Professoren und Dozenten:

Geh. Hof- und Medizinalrat Professor Dr. *R. Otto*; Prof. Dr. *H. Bekurts*; Geh. Hofrat D. Dr. *W. Blasius*; Geh. Hofrat Dr. *H. Weber* — Herzogl. technische Hochschule Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.

Prof. Dr. *M. Rees*; Prof. Dr. *O. Fischer*, Prof. Dr. *E. Wiedemann*; Prof. Dr. *E. Beckmann*; Dr. *Stollberg*, Assistent im chemischen Laboratorium	Kgl. bayerische Friedrich Alexander-Universität Erlangen.
Prof. Dr. *G. Klebs*; Prof. Dr. *Hagenbach-Bischoff*; Prof. Dr. *J. Piccard*	Universität Basel.
Prof. Dr. *M. Westermaier*; Prof. Dr. *J. v. Kowalski*; Prof. Dr. *A. Bistrzycki*	Universität Freiburg in der Schweiz.

Diesen Allen, insbesondere aber Herrn Prof. Dr. *G. Klebs*, unter dessen gütiger Leitung ich diese Arbeit anfertigte, schulde ich ergebensten Dank.

Im Sommersemester 1898 unterbreitete ich meine Dissertation der mathemathisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg in der Schweiz.